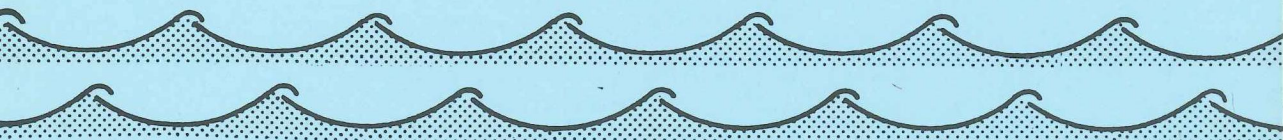


MERI



No 11

Helsinki 1982

Jouko Launiainen, Osmo Korhonen och Juha Koljonen: Strömförhållandena i havsområdet vid Lovisa kärnkraftverk p.1

Jouko Launiainen, Lasse Makkonen and Jarmo Saarinen: Results of marine meteorological observations in the northern part of the Baltic Sea p.20

Jouko Launiainen and Juha Koljonen: Variation of salinity at Finnish fixed hydrographic stations in the Gulf of Finland and the river runoff to the Baltic Sea p.39

Merentutkimuslaitos

PL 166

00141 Helsinki 14

Havsforskningsinstitutet

PB 166

00141 Helsingfors 14

Institute of Marine Research

Box 166

SF-00141 Helsinki 14

Finland

No 11

Helsinki 1982

Jouko Launiainen, Osmo Korhonen och Juha Koljonen: Strömför-
hållandena i havsområdet vid Lovisa kärnkraftverk p.1

Jouko Launiainen, Lasse Makkonen and Jarmo Saarinen: Results
of marine meteorological observations in the northern part
of the Baltic Sea p.20

Jouko Launiainen and Juha Koljonen: Variation of salinity at
Finnish fixed hydrographic stations in the Gulf of Finland
and the river runoff to the Baltic Sea p.39

STRÖMFÖRHÅLLANDENA I HAVSOMRÅDET VID LOVISA KÄRNKRAFTVERK

Jouko Launiainen, Osmo Korhonen och Juha Koljonen
Havsforskningsinstitutet
Institute of Marine Research
Box 166, SF-00141 Helsingfors 14
Finland

Currents in the sea area off the Loviisa Nuclear Power Plant

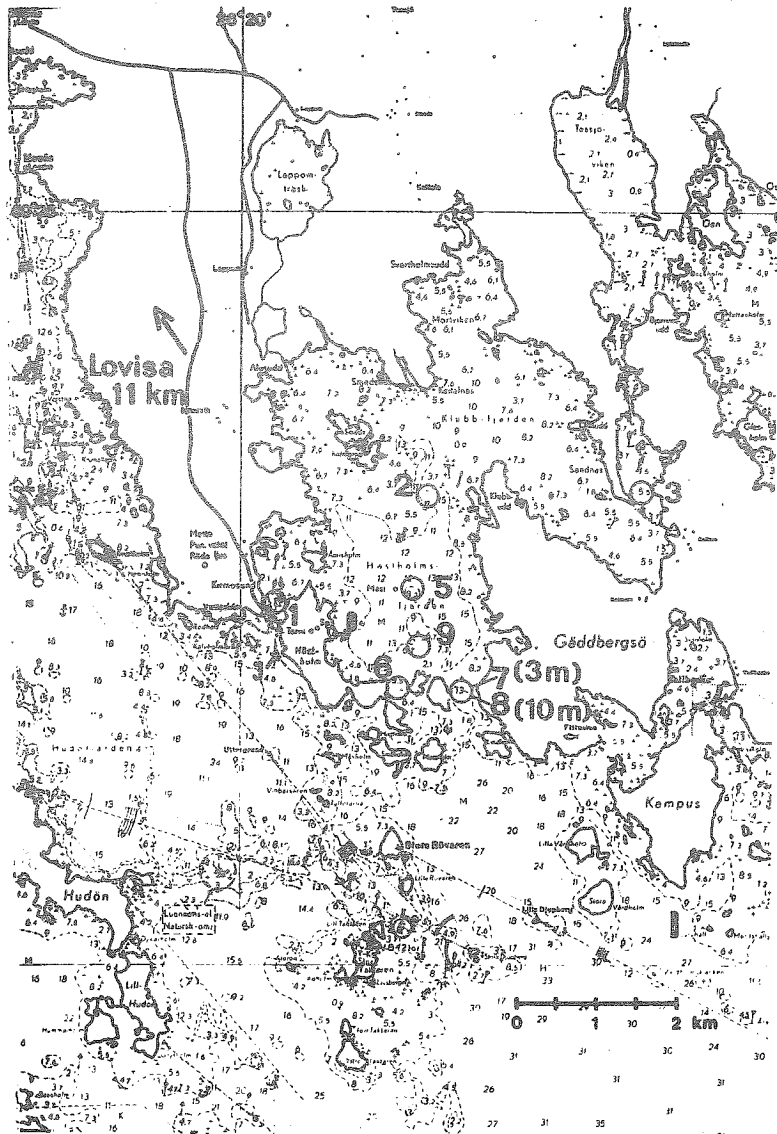
Abstract

The Institute of Marine Research has carried out three extensive measurement series in the sea area off the Loviisa nuclear power plant. The first one was made in 1971 before the nuclear power plant was built. Measurements were made over a seven month period at eight different observation stations. The first unit of the plant was built in 1977. The second series of measurements were taken in 1980. Because the plant was down almost all of 1980, a third series of measurements was started in 1981. This partly continues in 1982. Local water circulation mechanisms were investigated and temperature and current conditions before the Loviisa plant was built were compared to those same measurements taken afterwards. It was observed that short-term temperature variations increased. The current circumstances somewhat changed and the water temperature also increased in the straits near the power plant where the cooling water effects, discharge area excluded, are the most prominent.

1. STRÖMUNDERSÖKNINGAR

Havsforskningsinstitutet har utfört tre omfattande strömundersökningar i havsområdet vid Lovisa kärnkraftverk. Grundkarteringen av områdets strömförhållanden utfördes år 1971 (Korhonen 1975), då strömmätningar utfördes under sju månaders tid med tio strömmätare på åtta mätpunkter. För att undersöka strömförhållandena under kraftverkets drift genomfördes under 1980 i stort sett samma program som 1971. Kraftverket var dock nerkört under nästan hela den isfria tiden och därför upprepades motsvarande program under 1981. Delvis fortsätter detta program ännu år 1982. Dessa undersökningar har främst begränsats till en utredning av strömförhållandena i Hästholmsfjärden-Klobbfjärden samt i sunden som sammanbinder fjärdarna med de yttre havsområdena (fig. 1).

Utöver strömobservationerna registrerade strömmätarna under åren 1980 och 1981 temperaturen med 10 minuters mellanrum. Dessutom har sporadiska strömmätningar utförts på en lokal i fjärdsystemets centrala delar under åren 1972-1980 i samband med den oceanografiskmikrometeorologiska undersökningen, det s.k. Havsmastprojektet (Launiainen 1979).



Figur 1. Strömmätningspunkterna åren 1980 och 1981. I vertikalen p 7-p 8 var strömmätarna på 3 m (p 7) och på 10 m (p 8), i de övriga på 3 m djup.

Fig. 1. Sea area near the Loviisa Nuclear Power Plant. Numbers indicate the current observation points. I = cooling water inlet, O = cooling water outlet.

2. REGIONALA STRÖMPÅVERKANDE FAKTORER OCH STRÖMFÖRHÅLLANDEN

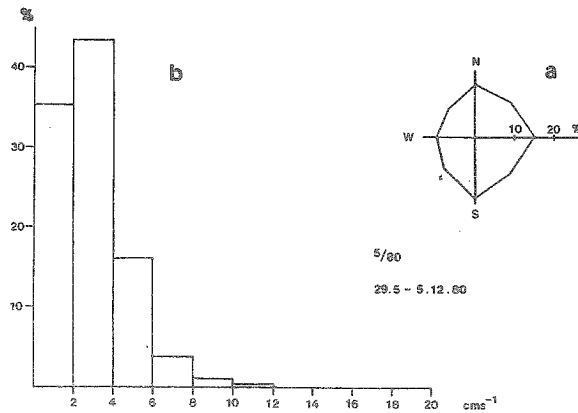
Hästholmsfjärden-Klobbfjärden bildar ett fjärdområde som är förbundet med det öppna havet via relativt trånga tröskelförsedda sund. Området är sålunda tämligen avskilt från de allmänna strömprocesserna vid Finska vikens kust. Dessa bestäms huvudsakligen av meteorologiska förhållanden även om man dessutom vid Finska vikens norra kust kan iaktta en svag västgående "statistisk" ytström. På grund av sitt läge fungerar fjärdområdets inre delar strömmässigt och omblandningsmässigt i stort sett oberoende av det öppna havet. Speciellt i fjärdarnas djupområden är vattnets horisontala och vertikala omblandning begränsad på grund av de smala tröskelförsedda sunden. Den begränsade omblandningen tillsammans med tillrinningen av sötvattnet förorsakar vintertid en salthaltsskiktning av vattnet och bidrar sommartid till utbildandet av en termoklin och en salthaltsskiktning. Områdets ström- och omblandningsförhållanden beror sålunda i hög grad på lokala förhållanden såsom form, djup, läge o.s.v. samtidigt som området karaktäriseras av de för våra kustområden så typiska fluktuationer förorsakade av växlande meteorologiska förhållanden.

2.1 De öppna fjärdarna

Vinden är, med undantag för perioder med långvariga och intensiva vattenståndsväxlingar, den viktigaste faktorn som åstadkommer strömmar i de öppna delarna av fjärdarna. Resultaten från det s.k. Havsmastprojektet antydde att ytströmmens hastighet på 1 m djup skulle vara 1-2 % av vindhastigheten.

Fördelningen av ytströmmarnas riktning och hastighet är framställd i figur 2 där man kan se att hastigheterna vanligtvis är låga; endast i 0,3 % av fallen översteg strömhastigheten 10 cm s^{-1} . På grund av områdets storlek och form är strändernas, bottenfigurationens och djupförhållandenas styrande och uppdämmande inverkan mycket betydelsefull. Sålunda kan strömsituationerna momentant och regionalt vara ytterst skiftande och komplicerade. Den uppdämmande och styrande effekt som de varierande bottenförhållandena åstadkommer kan resultera i högre strömhastigheter än de som beskrivits i figur 2, vilket kunde observeras t.ex. på lokal p 2.

Vid undersökning av strömmarnas periodicitet i fjärdsystemets inre delar med hjälp av spektralanalys har man bl.a. kunnat urskilja två typer av periodicitet, med periodlängder dels på 0.5-0.6 timmar och dels på 1.1 timme (fig. 3 lokal p 3). Till denna periodicitet hör ofta växlingar i strömförhållandena.



Figur 2. Strömmarnas fördelning på olika riktning (a) och den procentuella strömhastighetsfördelningen (b) på mätstation p 5 i den centrala delen av Hästholmsfjärden under den isfria tiden 1980.

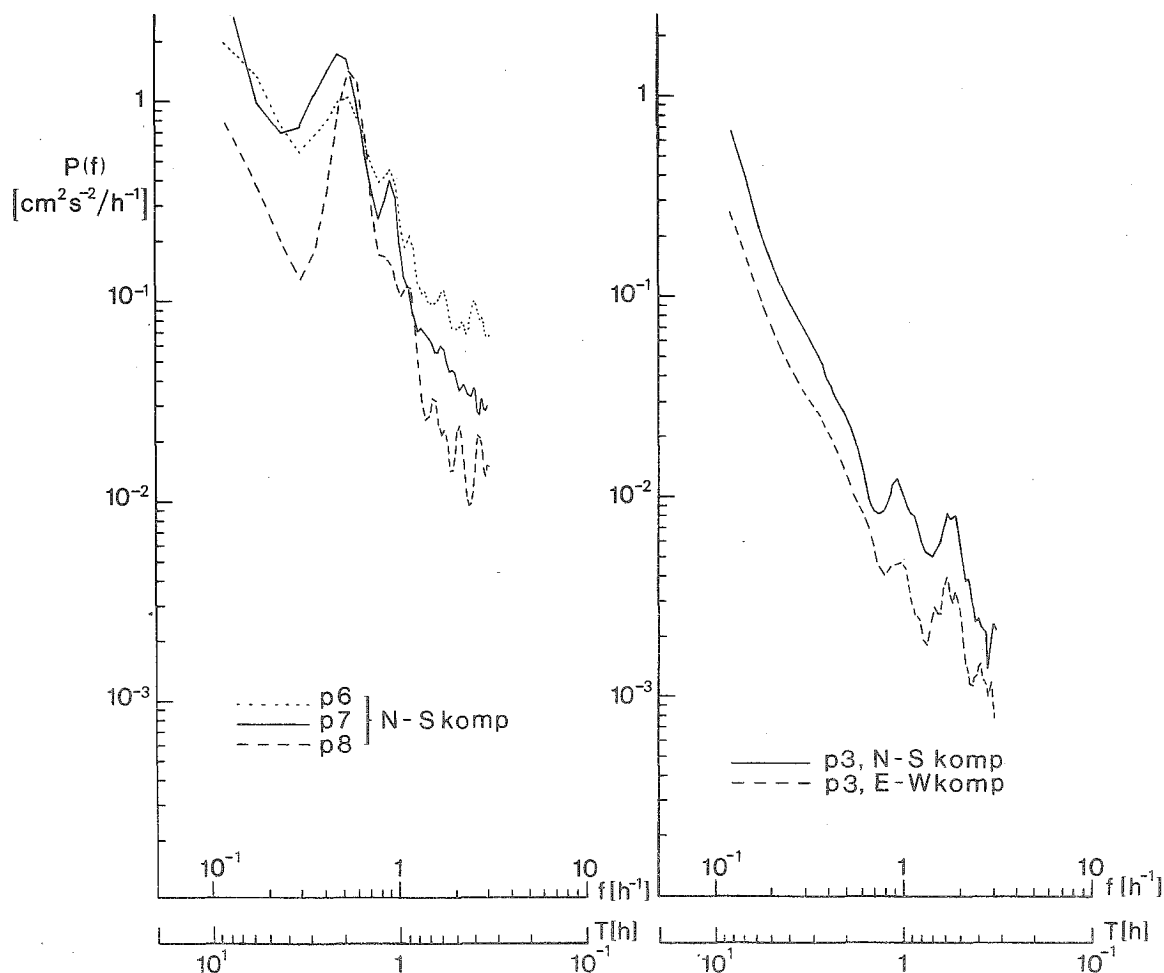
Fig. 2. Directional (a) and velocity distribution (b) of currents at an observation point p 5 (cf. Fig. 1) in 1980.

Den förstnämnda periodlängden torde motsvara fjärdsystemets specifika resonansfluktuation sk. seiches och den senare periodlängden, den fluktuation som är specifik för ett i förhållande till Finska viken öppet fjärdsystem. Båda typerna av seiches åstadkoms av t.ex. vindtrycket eller av stora vattenståndsväxlingar.

Både strömmen i området och omblandningen av fjärdarnas vatten är tämligen långsamma och småskaliga. Detta leder, tillsammans med tillrinning av sötvatten till området, till att fjärdarnas vattenmassa med undantag av mycket grunda områden, är skiktad under största delen av året.

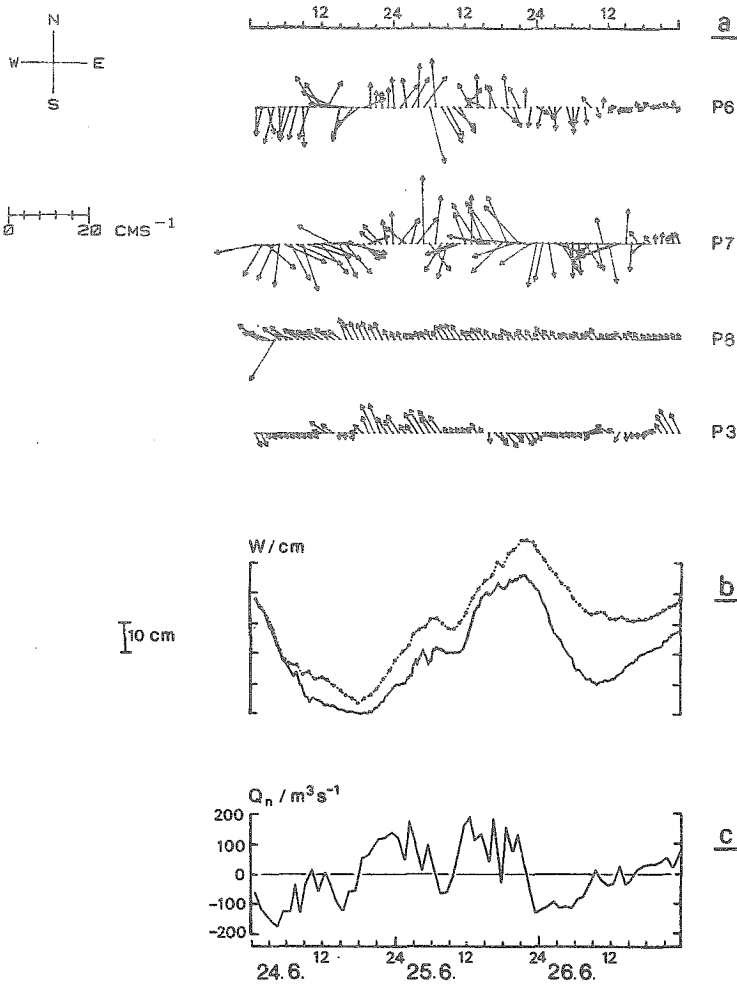
2.2 Växelverkan mellan fjärdarna och öppna havet - strömförhållandena i sunden

Strömmen i de sund som sammanbinder Hästholmsfjärden-Klobbfjärden med det öppna havet förorsakas framförallt av vattenståndsväxlingar i Finska viken, vilka regleras av vindförhållanden och förändringar i lufttrycket. Strömmarna i sunden utgör den viktigaste faktorn i fråga om vattenutbytet



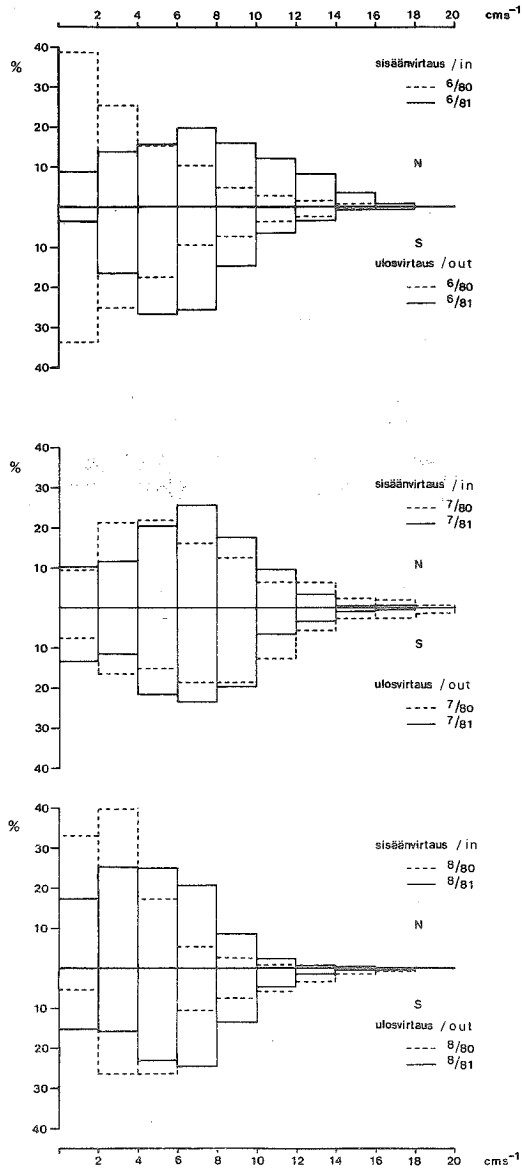
Figur 3. Energitäthetsspektra för strömmarnas nord-syd-komponenter på mätpunkterna p 6, p 7, och p 8 och nord-syd- och öst-väst-komponenter på mätpunkt p 3. Observationerna är utförda 18.6.-2.7.1980 och intervallen mellan observationerna är 10 minuter.

Fig. 3. Spectral energy densities for the north-south current components of the observation points p 6, p 7 and p 8 and, for the north-south and east-west components of p 3. Observation period 18.6.-2.7.1980 and the observation interval 10 min.



Figur 4. a) De i sunden observerade strömvektorer (observationerna är gjorda med 1 timmes intervall).
 b) Det uppmätta vattenståndet i Kirmosund (—) och de beräknade vattenståndsvariationerna (-.-.-) i Hästholmsfjärden-Klobbfjärden ($\Delta W / \Delta t = Q_n / A_{\text{area}}$) under 24.-26.6.1980.
 c) Den på basen av strömmätningarna beräknade nettovattenföringen ($Q_n = \sum v_i A_i$ där v_i = medelströmhastigheten i sundöppningen och A_i dess areal, $i=1...4$. Positiva värden innebär ökande vattenvolym i fjärdarna).

Fig. 4. a) Current vectors observed hourly at the straits during moderate water level variation conditions 24.-26.6.1980.
 b) Observed (—) sea level variations in the Hästholmsfjärden-Klobbfjärden bay area and, on the basis of current measurements calculated sea level variations (-.-.-) for 24.-26.6.1980.
 c) Net water balance (pos when increasing the volume) of the bay area based on the current measurements in the strait areas.



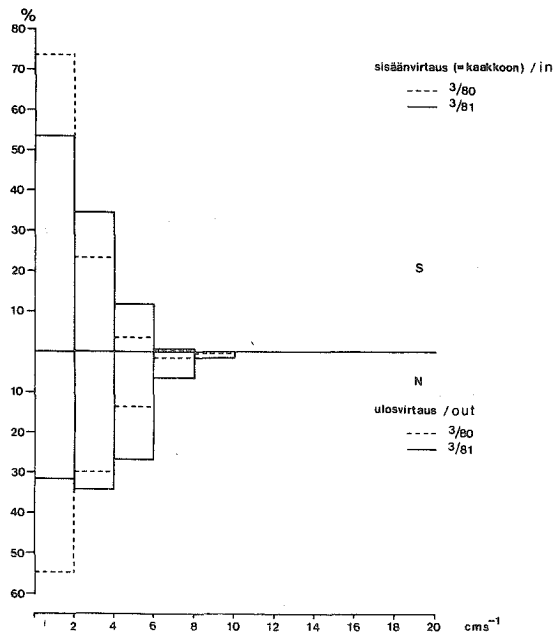
Figur 5. Den procentuella fördelningen av strömhastigheten i sundmät-punkterna under perioden juni-november 1980 och 1981. Antalet observationer är 13 000 - 22 000.

Fig. 5. Current velocity distribution in the strait areas p 6, p 7 and p 8 in June-November of 1980 and 1981. Currents classified as inflow and outflow as seen from the point of view of the bay area.

i fjärdarna. Ett exempel på strömmar förorsakade av vattenståndsväxlingar är framställt i figur 4. Strömvektorerna för de olika sunden är framställda i figur 4a. Figur 4b visar vattenståndsväxlingarna uppmätta i Kirmosund samt de på basen av strömmätningarna beräknade vattenståndsväxlingarna, vilka stämmer förvånansvärt väl överens med de uppmätta växlingarna trots förekomsten av vissa felkällor (bl.a. strömmätarnas låga antal). Figur 4c visar nettovattentransporten uträknad på basen av strömobservationerna. Mellan vattenståndsväxlingarna och strömförhållandena kan en tydlig, självklar korrelation iakttas.

Vattnet i sunden pulserar till största delen fram och tillbaka beroende på vattenståndsväxlingarna. Dessa strömmars inverkan på vattenmassan är begränsade till områden i närheten av sunden, förutom under perioder med mycket långvariga och intensiva vattenståndsväxlingar och/eller med hård vind. Å andra sidan tyder resultaten från den statistiska behandlingen av strömobservationerna på förekomsten av en viss systematisk vattencirkulation i området (fig. 7). Strömmarnas fördelning på olika strömhastighet i sunden, uppdelad på inström och utström, beskrivs i figurerna 5 och 6. Strömhastigheten i sunden är för det mesta låg. Den procentuella andelen observationer där hastigheten överstigit $16-18 \text{ cm s}^{-1}$ är låg på alla undersökta lokaler. Inga större skillnader eller assymetrier kunde observeras i fördelningen inström-utström mellan de olika lokalerna 1980. De största uppmätta strömhastigheterna i sunden har varit drygt 30 cm s^{-1} .

De strömmar i sunden, knutna till förändringar i de meteorologiska förhållandena och vattenståndsväxlingarna, som är av betydelse för fjärdarnas vattenutbyte är ofta icke periodiska. Man kan dock både i fråga om strömmarna och vattenståndsväxlingarna klart urskilja en dygnsbunden periodicitet. Med hjälp av en spektralanalys har man dessutom klart kunnat påvisa förekomsten av en periodicitet förorsakad av halvdygnstidvatten (M_2 ; 12,4 t), samt en periodicitet med 1.8-2.2 timmars period (fig. 3). Den senare periodiciteten förorsakas av vattnets specifika oscillerande strömningar av seiche -typ i tvärsled i Finska viken. Denna periodicitet i strömmarna är ofta klart skönjbar direkt i sundens strömobservationer, speciellt vid nordliga eller sydliga vindar eller strax efter att dylika vindar har blåst. Till dylika situationer hör ofta ansevnliga strömhastigheter och växlingar i strömriktningen med omkring 2 timmars intervaller. (Periodlängden, T , kan approximativt beräknas ur formeln $T=2L/\sqrt{gH}$, där L = bassängens bredd, H = medeldjupet och g = gravitationsfaktorn. Sålunda är $T = 2.1 \text{ t}$ då $L = 85 \text{ km}$ och $H = 50 \text{ m}$). De beskrivna specifika oscillationerna i Finska viken i tvärled påverkar dock inte märkbart strömförhållandena i de inre delarna av undersökningsområdet. Denna typ av periodicitet har sålunda inte i nämnvärd grad kunnat observeras vid spektralanalys av strömobservationerna från lokalerna i fjärdarnas inre delar (fig. 3).



Figur 6. Den procentuella fördelningen av strömhastigheten på mätpunkt p 3 i juni-november 1980 och 1981.

Fig. 6. Current velocity distribution at the observation point p 3 in June-November of 1980 and 1981.

2.3 Den regionala cirkulationens grunddrag

För att få en uppfattning om de genomsnittliga strömförhållandena och den genomsnittliga vattencirkulationen i området har medelvärdena för den procentuella fördelningen på inström och utström i sunden samt fördelningen på olika strömriktningar på två lokaler i Hästholmsfjärden uppritats i fig. 7. I det följande granskas resultaten från den tid då kraftverket var nerkört. Resultaten från 1981 kommer att behandlas i ett senare avsnitt. Speciell uppmärksamhet bör fästas vid resultaten från lokal p 6; trots att kraftverket inte var i drift dominerade utströmmen. På undersökningslokal p 7 dominerade inström svagt i medeltal. Detta framträdde ofta då vattnet temporärt steg (gällde ej vid intensiva vattenståndsväxlingar). I dylika situationer var strömriktningen på lokal p 7 nordlig, dvs vattnet strömmade in i fjärden, medan strömriktning på lokal p 6 kunde vara sydlig dvs ut ur fjärden. Ovan diskuterade inström-utströmförhållande i sunden samt strömriktningsfördelningen i Hästholmsfjärdens öppna delar (2.1 och 2.2) tyder på en genomsnittlig cirkulation motsols. Den kraftiga skiktningen av fjärdarnas vatten visar dock att denna cirkulation ofta

inte når de djupare vattenlagren, vilket också framgår av resultaten från det djupare sydöstra sundet (p 8); strömförhållandena på denna mätpunkt skiljer sig klart från förhållandena i ovanliggande vatten. Resultaten från 1980, speciellt ifråga om strömmönstren i sunden, skiljer sig mycket litet från resultaten från 1971, och sålunda har man på basen av resultat från dessa år kunnat framställa en schematisk bild av den genomsnittliga cirkulationen i Hästholmsfjärden i naturtillstånd (Fig. 8).

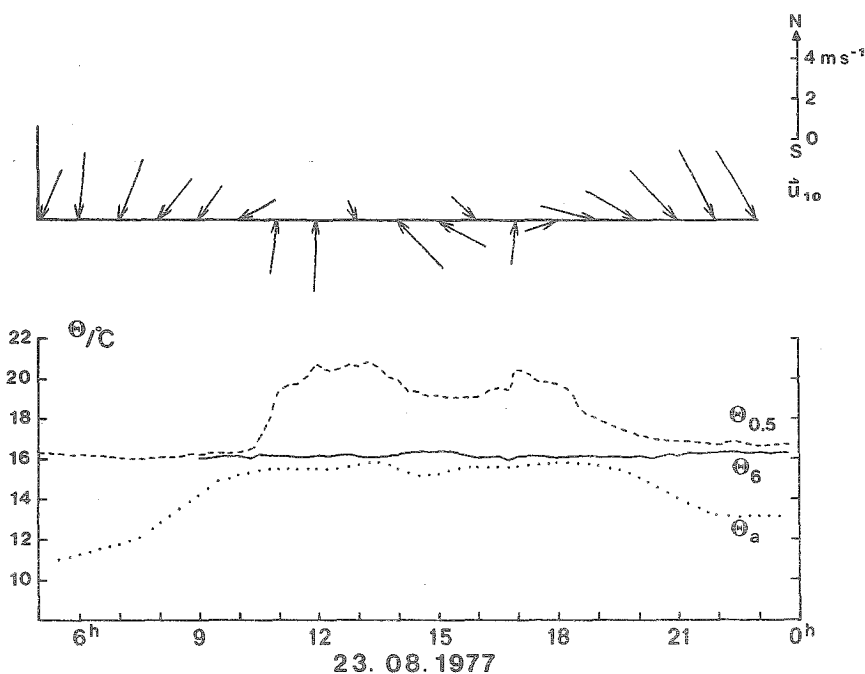
Kortvariga variationer i strömförhållandena är, som tidigare nämnts (2.1 och 2.2), av stor betydelse. Sålunda bör man hålla i minne att figurerna 7 och 8 beskriver statistiska långtidsresultat, vilka som sådana sällan kan observeras i naturen. Vid sidan av de kortvariga variationerna i strömförhållandena förekommer även vissa årstidsvariationer. Sålunda har man kunnat konstatera att förhållandet mellan nordgående och sydgående ström i de smala sunden, Kirmosund (p 1) och Jomalsund (p 3), är mera symmetriskt under försommaren än under hösten, då nordgående ström överväger. Från lokal p 3, där det igenomströmmande sötvattnet har stor betydelse för skiktningen och närsaltbalansen i området, finns det tyvärr inga mätresultat för tidpunkten för vårflödet. För att utreda detta kommer kompletterande mätningar att utföras i Jomalsund år 1982. Vad de övriga lokalerna beträffar kan man framförallt konstatera att utströmmen dominerade på "sund"-lokalen p 6 under alla tider på året (under alla undersökta månader) både år 1971 och år 1980.

På vintern, under den tid fjärdarna är istäckta, kan vinden naturligtvis inte direkt påverka de regionala strömmarna. Strömmarna regleras då dels av vattenståndsväxlingarna och dels av sötvattentillflödet, vilket närmast påverkar vattnets skiktning i området. Strömhastigheterna är vintertid mycket låga i de öppna delarna av fjärdsystemet och fördelningen på olika strömriktning är mycket diffus. Det är dock svårt att göra en tillförlitlig uppskattning av de allmänna strömförhållandena vintertid då de lyckade vintermätningarna både i sunden och fjärdarna är mycket få. Man kan endast anta att bl.a. de särdrag och mekanismer som ovan beskrivits reglerar strömförhållandena under andra delar av året i stor utsträckning, gäller även vintertid vid motsvarande vattenståndsförhållanden.

3. RESULTATEN FRÅN DEN TID DÅ KRAFTVERKET VARIT I DRIFT

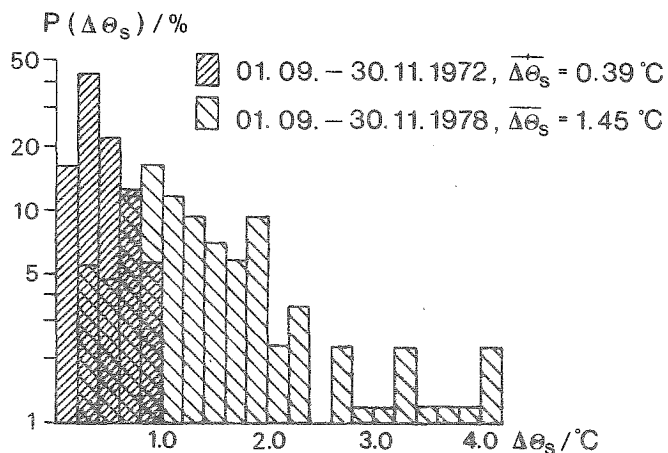
Resultaten från tidigare undersökningar om kraftverkets kylvattensbeteende och dess fysikaliska inverkan på omgivande vatten (Launiainen 1979, 1980, Ilus 1981 och Imatran Voimas fältundersökningsrapporter) visar bl.a. att kylvattnet sommartid breder ut sig i ytvattnet och sedan driver omkring med vinden i de öppna fjärdarna. I samband med detta har man kunnat

observera snabba växlingar i ytvattnets temperatur (figur 9 och 10). Då det isfria området vintertid har varit relativt litet kanaliseras det varma kylvattnet in under isen, där det sprids under det sötvattensskikt som är beläget just under isen. Sålunda har förhöjda temperaturer och betydande temperaturväxlingar kunnat observeras vintertid på flere kilometers avstånd från kraftverket. Resultaten från sommarmånaderna 1977-79 visade att den naturliga salthaltsskillnaden mellan Hudöfjärden i öppna havet, där kraftverkets kylvattenintag är beläget, och Hästholmsfjärden hade försvunnit då kraftverket var i drift. Salthaltsskillnaderna återställdes dock 1980 när kraftverket var nerkört (Ilus 1981). Den kylvattenmängd, som båda kraftverksenheter tillsammans använder ($50 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$) motsvarar en volym som i fjärdsystemets vattenutbyten skulle höja vattenståndet med 29 cm per dygn.



Figur 9. Vindförhållandena (\vec{u}_{10}) samt temperaturförhållandena i vattnet (0.5 och 6 m djup) och i luften (Θ) 23.8.1977 enligt observationer gjorda vid Hästholmsfjärdens^a havsmast (motsvarar lokal p 5 på fig. 1). På förmiddagen vred vinden mot syd för att igen övergå till nordlig på eftermiddagen. Detta har förorsakat den snabba och tydliga temperaturökningen i ytvattnet, och visar sålunda vindens betydelse för spridningen av kylvattnet (Launiainen 1979).

Fig. 9. Wind (\vec{u}_{10}), water (0.5 and 6 m) and air temperature (Θ_a) conditions measured at the observation point p 5 in 23.8.1977. Remarkable variations of the sea surface temperature are connected with the turning of the wind, revealing the wind drift effect in the behaviour of cooling water at the open sea areas.



Figur 10. Fördelningen av den dagliga variationen i ytvattnets temperatur ($\Delta\theta_s = \theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}$) vid Hästholmsfjärdens havsmast (p 5) under hösten 1972 och 1978, vilken visar hur temperaturvariationerna ökat då kraftverket varit i drift (1 enhet).

Fig. 10. Frequency distribution of the daily variation of the sea surface temperature ($\Delta\theta_s = \theta_{\text{max}} - \theta_{\text{min}}$) at the observation point p 5 during the autumn 1972 and 1978 revealing the effect of cooling water in temperature changes in 1978.

När man försöker bedöma kraftverkets inverkan på ström- och omblandningsförhållandena i området bör man komma ihåg att observationer som gjorts under olika år och olika tider på året brukar vara svåra att jämföra då de kan representera olikartade hydrometeorologiska situationer. Detta kan påverka resultaten, tom när det gäller långtidsmedelvärden, även om det ofta är mycket svårt att bedöma i hur hög grad. I det följande granskas de resultat som erhållits då kraftverket varit i drift huvudsakligen ur tre olika synvinklar. För det första granskas de statistiska strömförhållandena, för det andra strömhastighetsspektra och för det tredje temperaturvärdena som erhållits med strömmätarnas termometrar.

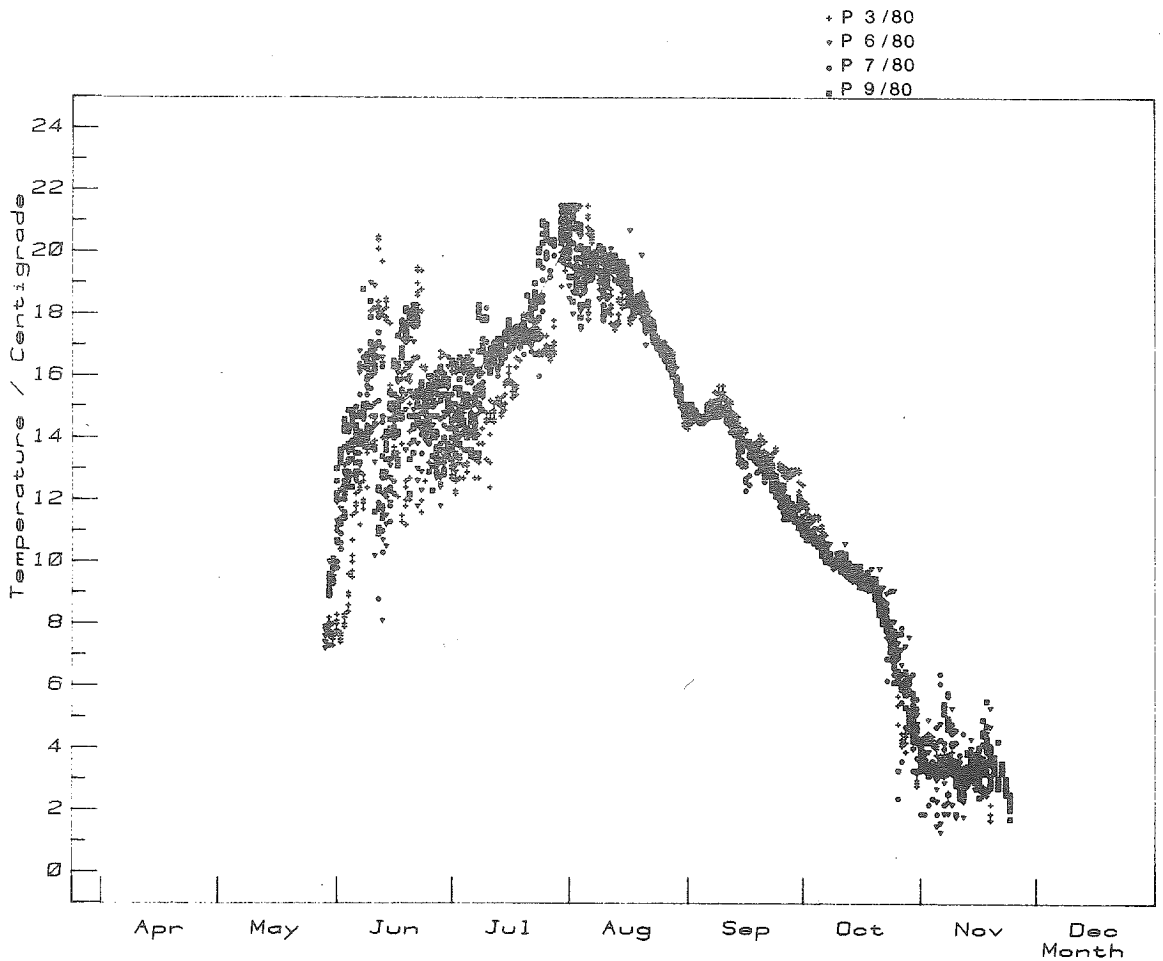
Då man jämför den procentuella fördelningen av in- och utström i sunden år 1981 med år 1980 (fig. 7) kan man konstatera, att utströmmens dominans på lokal p 6 har ökat. Också på lokal p 7, där inströmmen varit dominerande tidigare, dominerade utströmmen år 1981. I de djupare vattenlagren på denna lokal (p 8) dominerade inströmmen år 1981 i motsats till tidigare år då situationer med utström varit något vanligare. I sundet i nordost (p 3) samt på lokal p 2 i den öppna norra delen av fjärdsystemet kunde inga större förändringar observeras. På lokal p 9 hade andelen strömsituationer med östgående ström ökat något. De ovannämnda resultaten tyder på att utströmmen i ytskiktet skulle ha ökat i de sydliga sunden. En dylik situation i en skiktad

vattenmassa resulterar hydrodynamiskt i uppkomsten av en kompensationsström i motsatt riktning i de djupare skikten, vilket ju också kunde observeras i de djupare skikten i sunden (p 8). Det är dock svårt att bedöma kvantitativt i vilken utsträckning kraftverksdriften förorsakat de ovan beskrivna förändringarna.

När man undersöker sundens strömförhållanden genom att jämföra resultaten från spektralanalysen, dels från de olika lokalerna (p 6, p 7, p 8) och dels från de enskilda lokalerna under åren 1980 och 1981, kan man iaktta att energin bunden till mycket långa perioder har ökat på lokal p 6, vilket tyder på att basströmmen skulle ha ökat något, åtminstone på denna lokal.

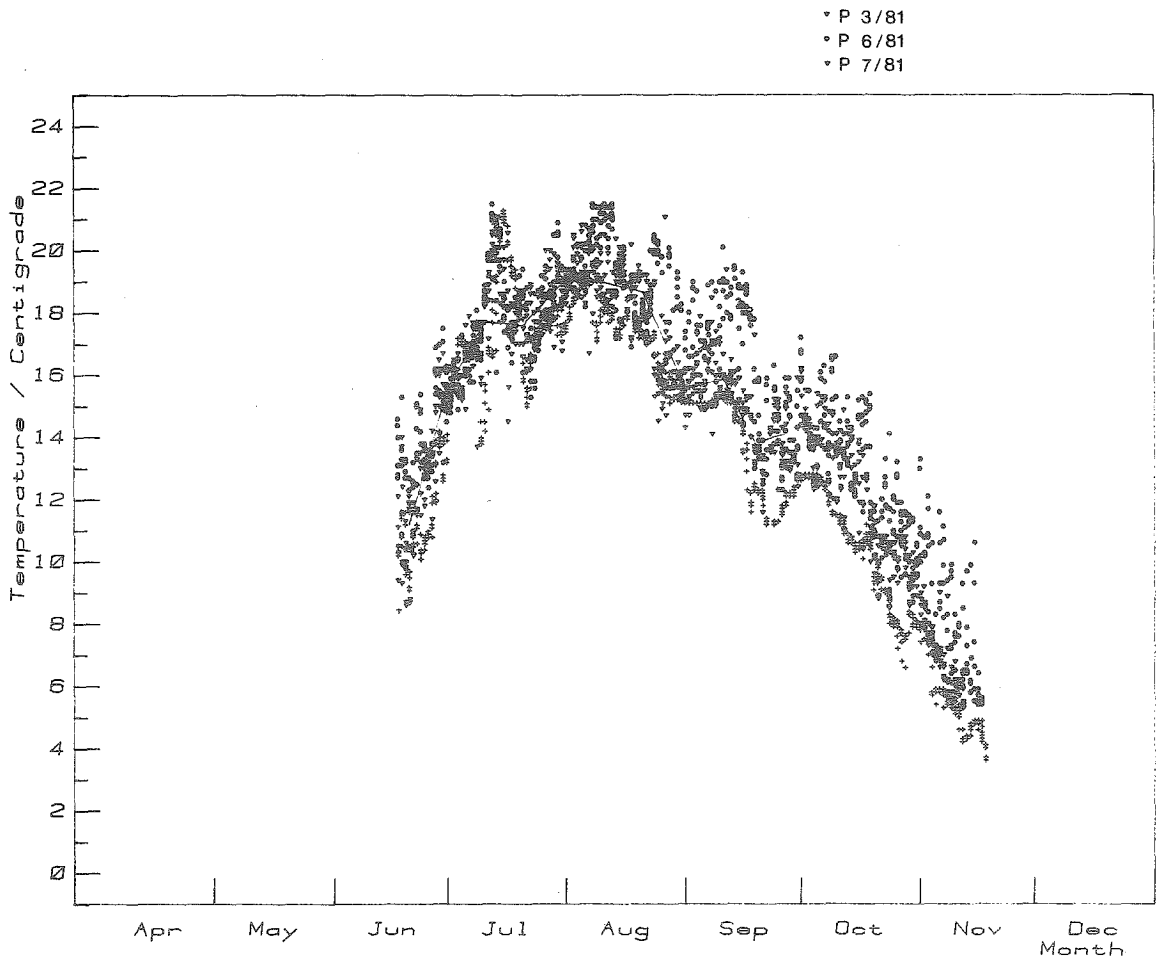
Temperaturutvecklingen under den isfria tiden åren 1980 och 1981 på ett antal representativa lokaler har uppritats i figur 11. Temperaturutvecklingen under 1980 är typisk för området i naturtillstånd. På de enskilda lokalerna karaktäriseras utvecklingen under uppvärmningsperioden (maj till skiftet juli-augusti) av stora dagliga temperaturväxlingar (fig. 11a). Under denna period förekommer också väsentliga temperaturskillnader mellan de olika lokalerna. Under avkylningsperioden, från augusti framåt, är de kortvariga temperaturväxlingarna på de enskilda lokalerna små och skillnaden mellan de olika lokalerna liten. I början av november 1980 körde kraftverket igång, vilket är den troliga orsaken till den större spridningen i temperaturvärdena under november månad. Resultaten från 1981 visar att kortvariga dagliga temperaturväxlingar har blivit vanligare även under avkylningsperioden på ett flertal lokaler (fig. 11b och 11c); variationsbredden har ökat med 2-4 °C beroende på lokalen. Då man jämför temperaturutvecklingen på lokal p 3 under 1980 med 1981 samt med utvecklingen på endel andra lokaler under ifrågavarande år kan man konstatera att, medan värdena på lokal p 3 inte visar någon ökning har värdena på lokal p 6 ökat med ca 2 °C. På de övriga lokalerna kunde även iakttas en ökning, som dock var mindre än på lokal p 6. På den djupa observationslokalen (p 8), där inströmmen dominerade 1981, kunde inte heller iakttas någon större skillnad i temperaturutvecklingen mellan år 1980 och år 1981. De resultat som erhållits då man jämfört temperaturförhållandena under de olika åren bekräftar de slutsatser man kunnat göra på basen av strömmätningarna. De visar bl.a. att kraftverkets inverkan på fjärdområdets norra och nordöstliga delar under den isfria tiden av året är liten. (Temperaturförhållandena vintertid har redovisats bl.a. i Imatran Voima AB's rapporter och av Launiainen (1980)).

Som sammanfattning av de resultat som erhållits över områdets strömförhållanden och kylvattnets beteende under den tid kraftverket varit i drift kan man konstatera följande:



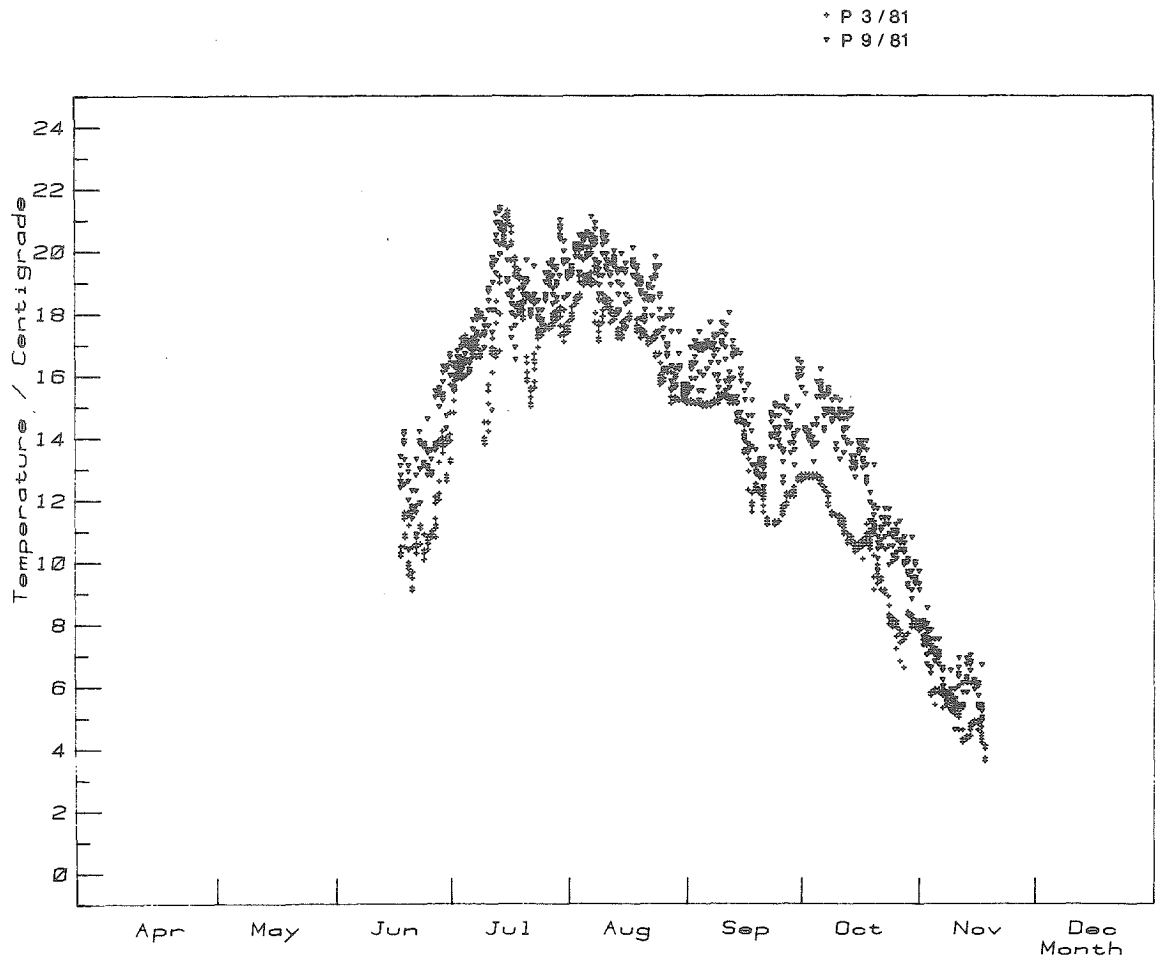
Figur 11a. Variationerna i vattentemperaturen på mätpunkterna p 3, p 6, p 7 och p 9 under 1980 (observationerna är gjorda med 4 timmars intervaller. Kraftverket körde igång i början av november 1980).

Fig. 11a. Variations of water temperatures at the observation points p 3, p 6, p 7 and p 9 in 1980. Observation interval 4h. (The power plant started after the beginning of November 1980).



Figur 11b. Variationer i vattentemperaturen på mätpunkterna p 3, p 6 och p 7 under 1981.

Fig. 11b. Variations of water temperatures at the observation points p 3, p 6 and p 7 in 1981.



Figur 11c. Variationerna i vattentemperaturen på mätpunkterna p 3 och p 9 under 1981.

Fig. 11c. Variations of water temperatures at the observation points p 3 and p 9 in 1981.

- Kortvariga temperaturväxlingar har ökat i området på grund av kylvattnets spridningsbeteende, vilket bestäms av meteorologiska förhållanden.
- Det vintertid isfria området har vanligen varit mycket litet och sålunda har man kunnat konstatera förhöjda temperaturvärden under isen.
- Vattenmassan i fjärdarna har varit temperatur- och salthaltsskiktad med undantag för höstperioden, september till isläggningen.
- Utströmmen har ökat på strömmättningslokalerna p 7 och speciellt på p 6 i de sydliga sunden.
- Det utströmmande vattnets temperatur har stigit omkr. 2 °C. I områdets nordligaste delar kunde inte någon tydlig termisk inverkan av kylvattnet under sommarmånaderna observeras.
- Den naturliga salthaltsskillnaden mellan Hudöfjärden och Hästöfjärden utjämnades då kraftverket var i drift, men återställdes då kraftverket var nerkört.
- Kraftverkets fysikaliska inverkan på området har varit lokal och stämmer i stora drag överens med förhandsberäkningarna och förhandsutredningarna.

Referencer

- Ilus, E. 1981: Yhteenveto Loviisan Hästholmenia ympäröivällä merialueella suoritetuista kemiallisista ja biologisista vesistötutkimuksista. - Säteilyturvallisuuslaitoksen raportti 1981, 42 pp. (mimeogr.).
- Korhonen, O. 1975: Alustava selvitys Loviisan Hästholmsfjärdenin virtausmittauksista 1971. - Meri 2:3-44.
- Launiainen, J. 1979: Studies of energy exchange between the air the sea surface of the coastal area of the Gulf of Finland. - Finnish Mar. Res. 246:3-110 (diss).
- " - , 1979: Physical studies in the sea area off the Loviisa power plant. - Suomal.-neuvostoliitt. säteilyasiantuntijoiden 2. symposio Helsingissä 3.-8.9.1979. 17 pp. (mimeogr.).
- " - , 1980: Jäähdytysveden fysikaalisesta käyttäytymisestä talvisessa vesiympäristössä Loviisan Hästholmsfjärdenillä v. 1977 ja 1978. - Meri 6:39-57.

RESULTS OF MARINE METEOROLOGICAL OBSERVATIONS IN THE NORTHERN PART
OF THE BALTIC SEA

Jouko Launiainen, Lasse Makkonen and Jarmo Saarinen
Institute of Marine Research
Helsinki, Finland

Abstract

Marine meteorological observations of R/V Aranda from the northern part of the Baltic Sea in 1975 and 1977-79 are presented. The frequency distributions are given for observed parameters, and for calculated quantities related to atmospheric stability and heat fluxes. The annual course of some of these quantities is investigated for the ice-free season.

1. INTRODUCTION

Information about marine meteorological conditions on the open sea is needed for many purposes; heat exchange calculations, water balance studies, statistical forecasting of extreme conditions etc. require rather detailed observations of meteorological quantities such as wind speed, air temperature and moisture, covering large areas and long periods. Marine meteorological data are often used also in the interpretation of marine chemical and biological phenomena and e.g., in gas exchange calculations.

From the northern part of the Baltic Sea such information has been scarce, since the observations have been made mainly on coastal stations or irregularly on merchant ships. In order to improve the situation a marine meteorological project on R/V Aranda was started in 1975. Within this observational programme it has been possible to collect synoptic data with wide areal coverage, using well calibrated instruments. The interpretation of these data is, however, not easy e.g., because of alternating cruise routes and still relatively small amount of data. In spite of these problems a short report of some preliminary overall results seems to be useful, since such information is scarce.

2. DATA

The observed quantities for which results are presented in this report are mean wind speed u_2 , air temperature T_a , wet bulb temperature T_w , sea

surface temperature T_s and cloudiness c .

A cap anemometer with a digital display and an integrator for two minutes average values was used in the wind speed measurements. The anemometer was situated on the main mast of the ship at a height of 19 m from the sea surface. The wind speed over-estimation caused by the ships hull is somewhat less than 10 % on the average but may vary from 0 to 35 % depending on the stability and the direction of the wind with respect to the ship (Kahma and Leppäranta 1981). Dry and wet bulb temperature were measured with artificially ventilated aspiration psychrometer on the bridge at a height of 7 m. A ship hull thermometer with a digital display on the bridge was used for sea surface temperature measurements. The cloudiness was estimated visually.

The measurements were made by the officers of the ship with regular data control by the meteorologists of the Institute of Marine Research. Before each measurement the ship was stopped. The observation times were 03, 09, 15 and 21 GMT, and the measurements were always made when the ship was on the open sea.

The data reported here are from the ice-free period June-November from four years, viz. 1975, 1977, 1978 and 1979. In 1976 the ship was under repair. Areal distribution of the data for each year is given for the three seasons June-July, August-September and October-November separately in fig. 1.

In addition to the observed quantities, results for some calculated quantities is given in this report. The calculation methods are conventional. However, a stability parameter bulk-Richardson number was calculated according to

$$R_{bz} = \frac{gz (T_z - T_s)}{T_0 u_z^2}$$

in which g is the gravitational constant, z is the level of temperature measurements viz. 7 m, T_0 is the mean absolute temperature of the surface layer and u_z is the wind speed corrected to the level of 7 m by the logarithmic wind profile using a wind dependent drag formula by Garratt (1977). In the calculation of Bowen ratio Bo a condition $q_s - q_z > 4 \cdot 10^{-3} \text{ g kg}^{-1}$ was used since the calculation of Bo is not relevant when the denominator i.e., the latent heat flux is very small. When calculating daily average values of the quantities, days with less than three observations were excluded.

3. RESULTS AND DISCUSSION

As discussed, in the interpretation of this report the results must be seen averaged in a way, both with respect of time and area, giving some rough overall characteristics for the Baltic Sea conditions.

The frequency distributions of some of the observed and calculated quantities are presented in figs. 2-11. from which the following most important general features can be pointed out:

- The average wind speed u_z in fig. 2 of the period June-July is about 60 % of the corresponding value of the period October-November and the shape of the distribution is considerably changed. Therefore, the quantity u_z^2 proportional to the surface stress is about 2.5 times larger in October-November than in June-July. In addition it must be pointed out that the distribution is somewhat distorted in autumn due to the tendency of the ship to avoid sailing during very high wind speeds, i.e., the portion of high wind speeds ($> 15 \text{ ms}^{-1}$) may be diminished and very high speeds are missing.
- The distribution of thermal stability $T_s - T_z$ and stability parameter R_{bz} in figs. 3 and 4 show that different stability conditions occur in rather wide limits during all periods, and that the average conditions turn to be unstable only in the last period October-November (see also figs. 12 and 13). This is comparable to the results of Hela (1951) at Finngrundet. If the effect of moisture is taken into account in the surface layer stability, slightly unstable conditions prevail on the average in August-September too. In all, the variation of stability conditions is much wider than is observed over the ocean (e.g. Roll 1965).
- The specific humidity difference $q_s - q_z$ distribution in fig. 5 is most distinctly concentrated upon zero in June-July and has largest variation and a maximum mean value in August-September, reflecting the conditions of evaporation and condensation.
- The form of the distribution of relative humidity R in fig. 6 is rather similar for all the periods, and represents a smaller range of variation compared to that observed over the land (Heino 1977) but wider than over the ocean (e.g. Roll 1965). Small values of R occur very seldom. The result that the mean value of R is about 5 % smaller for August-September than for the other periods may be due to weaknesses of the data (cf. fig. 1).
- The humidity in terms of water vapour pressure e_z in fig. 7 shows a narrower distribution and a clearly smaller mean value in autumn.

- The distribution of cloudiness in fig. 8 is very similar for the first two periods but shows much larger values in October-November. The minimum at the cloudiness value 7 may be due to the subjective visual observation method.
- The quantity $u_z \cdot (T_s - T_z)$ proportional to the sensible heat flux and the quantity $u_z \cdot (q_s - q_z)$ related to evaporation in figs. 9 and 10 are distinctly different for the three periods (for $u_z \cdot (T_s - T_z)$ see also fig. 12). In June-July there is an accumulation of $u_z \cdot (q_s - q_z)$ values near zero and remarkably many observations indicate condensation. The largest mean evaporation seems to occur during the period August-September (cf. fig. 5).
- The Bowen ratio Bo indicating the ratio of the sensible heat flux H_s to the evaporative heat flux H_L is according to fig. 11 mostly negative - the two mechanisms working into different directions - in the first two periods, and positive in October-November. The evaporative heat flux seems to be strongly dominating on the average in August-September and October-November (cf. fig. 14). The daily average values of some of the parameters are plotted as a function of time during the ice-free period in figs. 12-14 to give a better view of the seasonal behaviour.
- The daily temperature difference $T_s - T_z$ in fig. 12 seems to increase rather linearly and the monthly mean temperature difference from June to October can be roughly expressed with the regression line

$$T_s - T_z = 0.63 t - 2.7 \quad (1)$$

where t is the ordinal of month, with $t = 0$ for June 1. The change to the conditions where the air is on the average colder than the sea surface seems to occur in the beginning of September.

- An approximately linear trend can be seen also in the plot of the bulk stability parameter R_{bz} in fig. 13. It can be approximated with the regression line

$$R_{bz} = -0.007 t + 0.032 \quad (2)$$

- The variation of the daily Bowen ratio is quite large especially in early summer, due to the variation of the quantities $u_z \cdot (T_s - T_z)$ and $u_z \cdot (q_s - q_z)$ (see figs. 9 and 10). However, a rather clear increasing trend can be observed in fig. 14.

When considering the results one should note, that the data may not be entirely representative with respect to both area and different years, as can be seen in fig. 1. However, the results should be useful in a general description of the overall conditions over the northern part of the Baltic Sea until more complete statistics are available. Since 1977 four automatic marine meteorological stations installed in open-sea lighthouses have been working on the Finnish waters. In near future data from these stations will bring further insight to the problematics of marine meteorological conditions and air-sea interaction.

AKNOWLEDGEMENTS

The observation activity of the officers of R/V Aranda is gratefully acknowledged.

REFERENCES

- Garratt, J. R., 1977: Review of drag coefficients over oceans and continents. - Mon. Wea. Rev. 105:915-929.
- Heino, R., 1977: On the diurnal variation of humidity in Finland. - Finnish Meteorological Institute, Tech. Rept. 16.
- Hela, I., 1951: On the energy exchange between the sea and the atmosphere in the Baltic area. - Ann. Acad. Scient. Fenn. Ser. A 97:1-48.
- Kahma, K. & Leppäranta, M., 1981: On errors in wind speed observations on R/V Aranda. - Geophysica 17:155-165.
- Roll, H. U., 1965: Physics of the Marine Atmosphere. - 426 pp. Academic Press, New York.

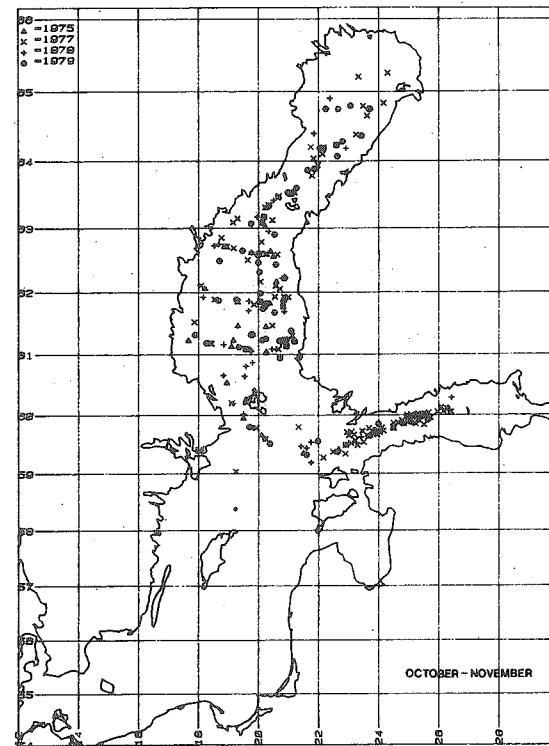
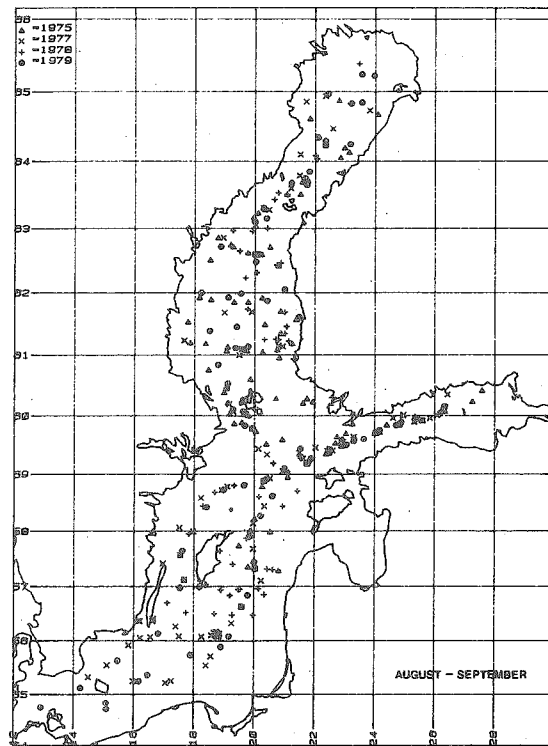
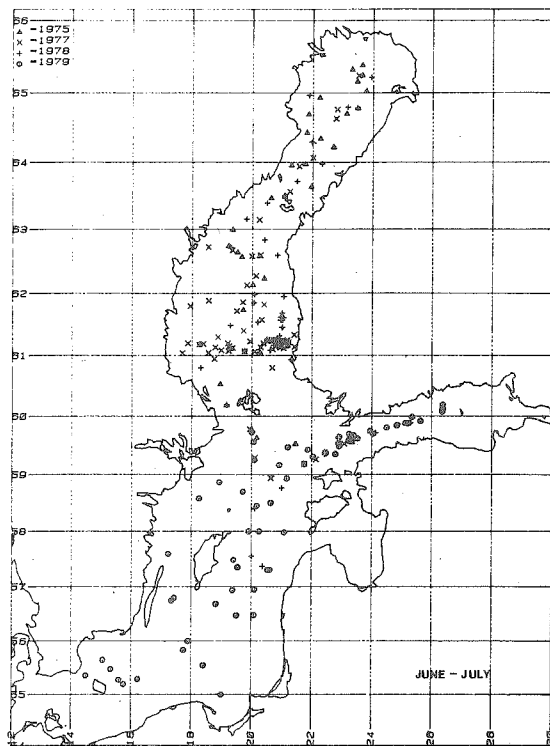


Fig. 1. Areal distribution of synoptic meteorological observations of R/V Aranda in 1975-1979.

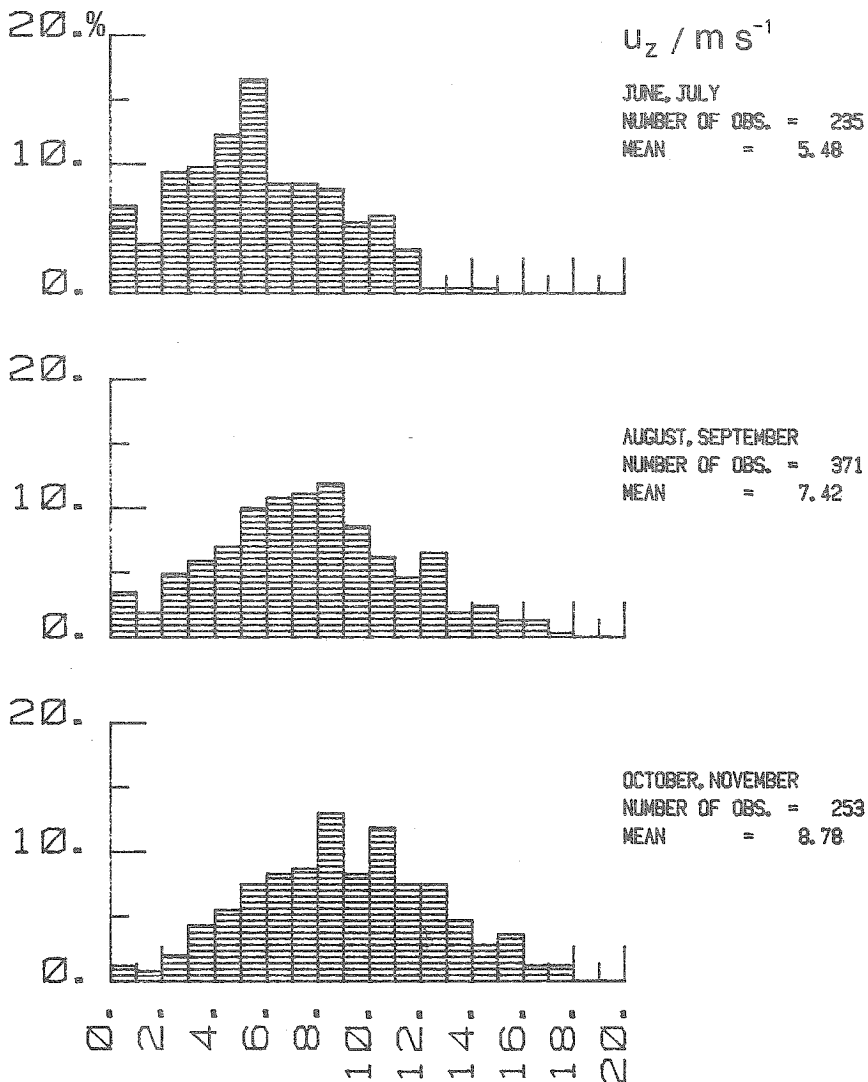


Fig. 2. Frequency distributions of wind speed ($z = 19 \text{ m}$)

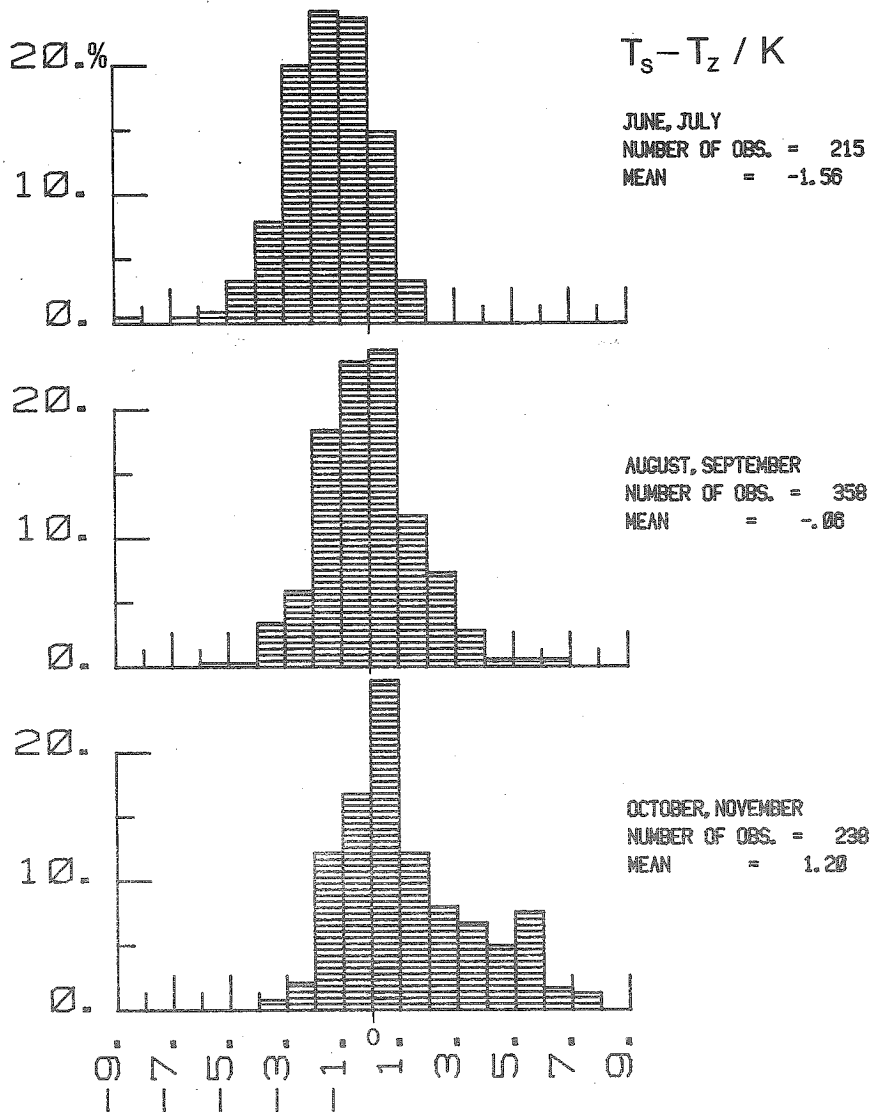


Fig. 3. Frequency distributions of sea-air temperature difference.

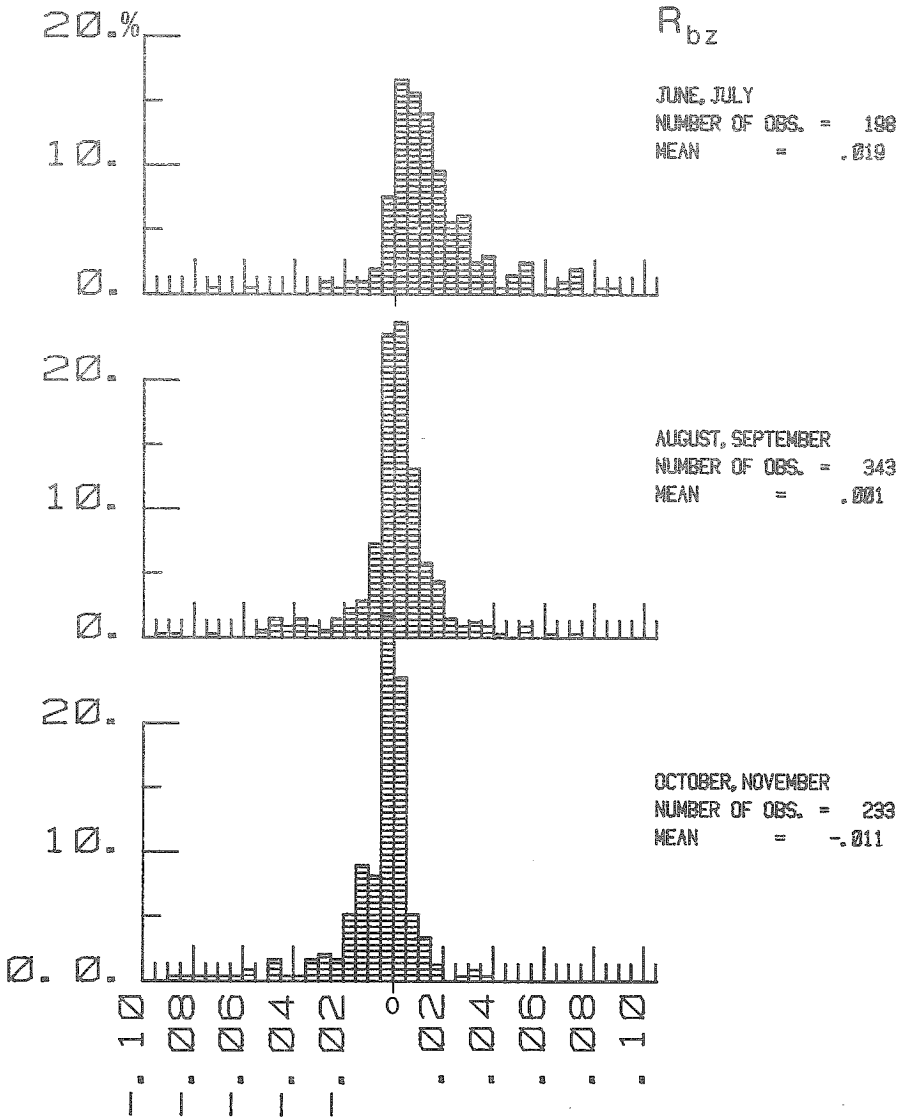
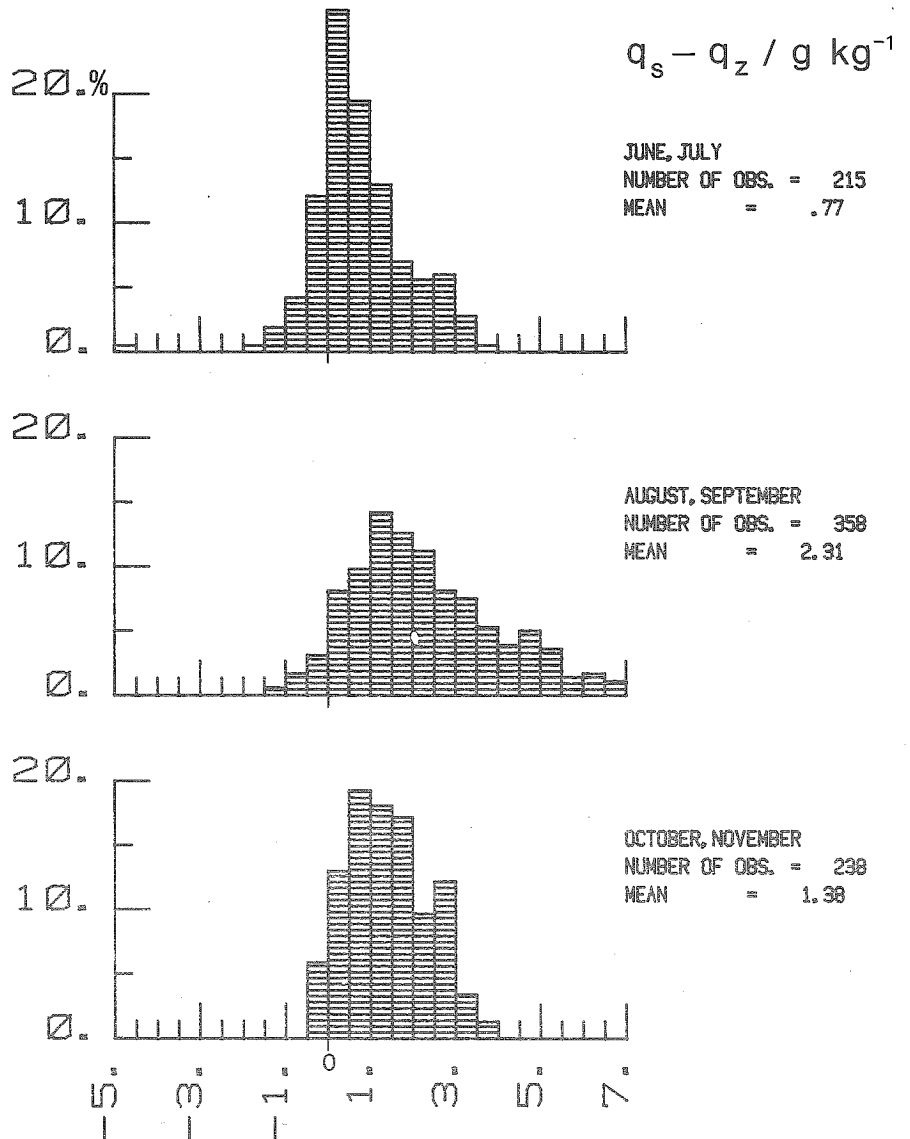


Fig. 4. Frequency distributions of the bulk-Richardson number R_{bz} referred to the height of temperature measurements ($= 7$ m).



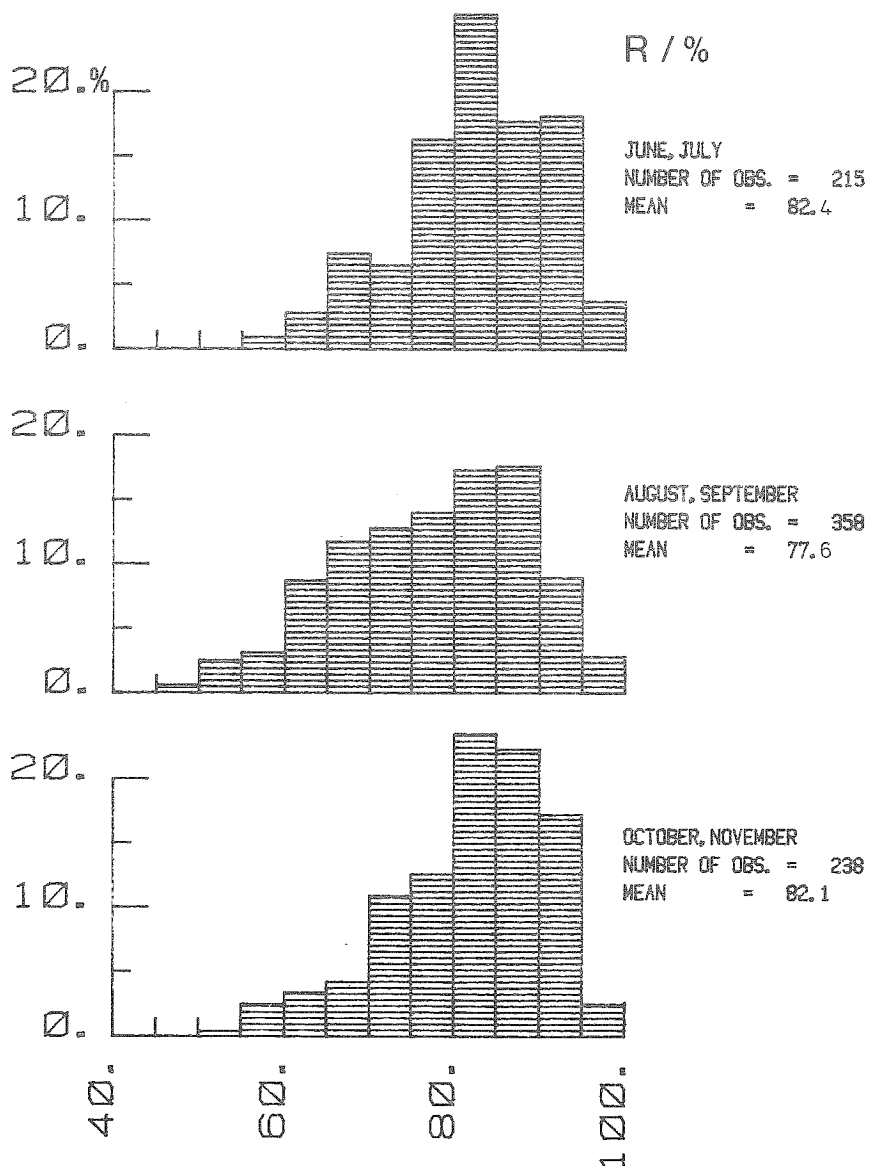


Fig. 6. Frequency distributions of relative humidity
 ($z = 7 \text{ m}$).

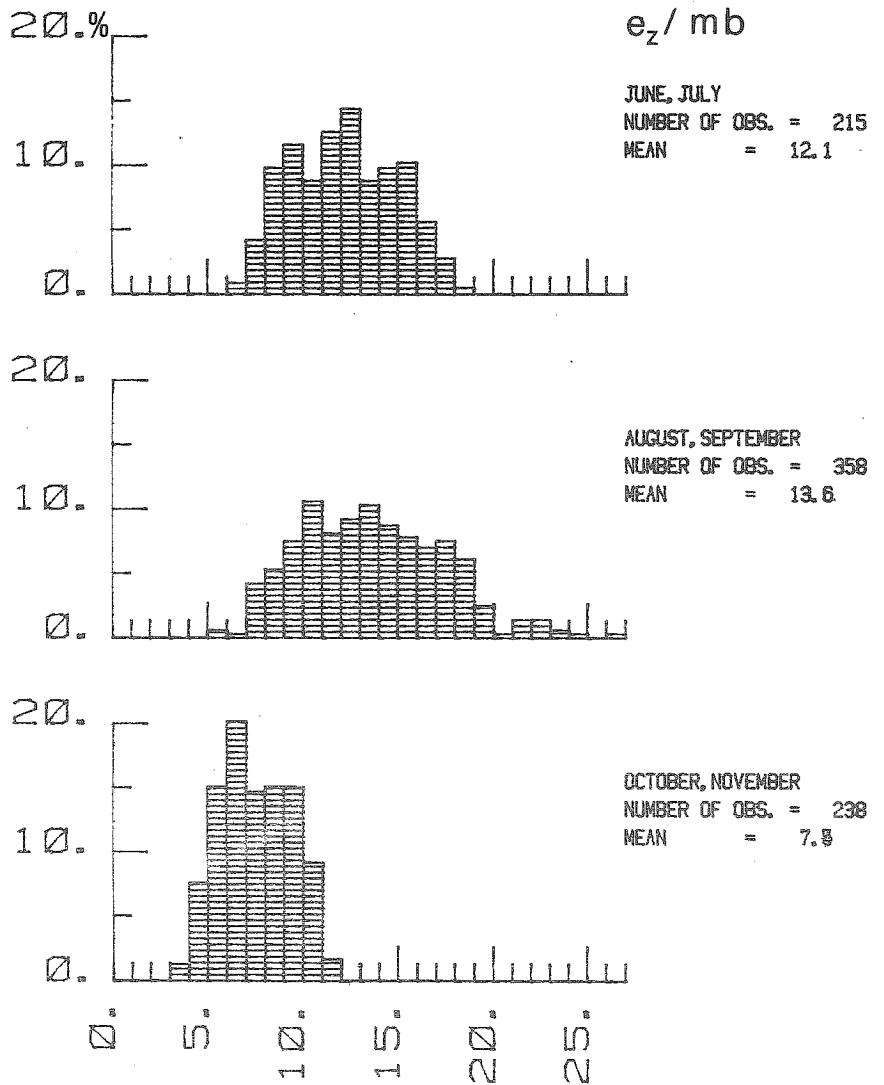


Fig. 7. Frequency distributions of the water vapour pressure of air ($z = 7 \text{ m}$).

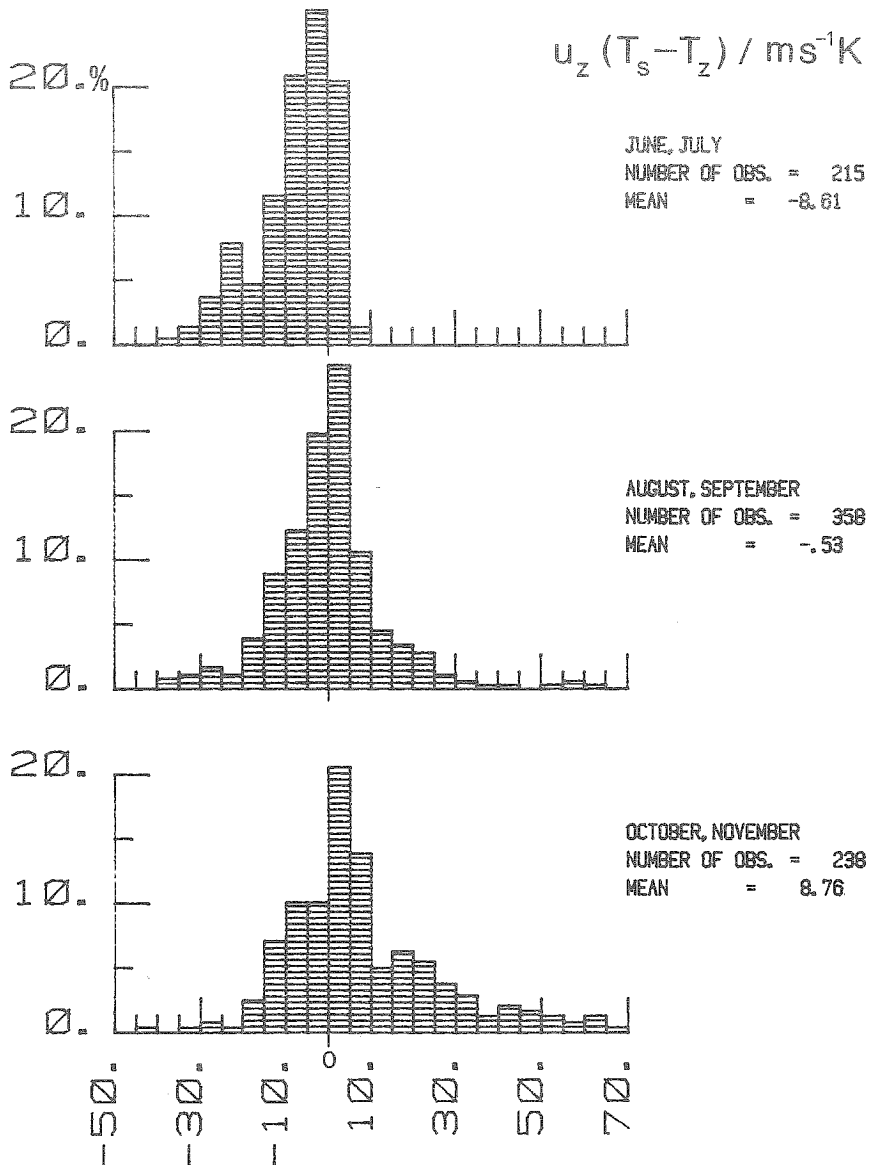


Fig. 8. Frequency distributions of the quantity wind speed multiplied with sea-air temperature difference.

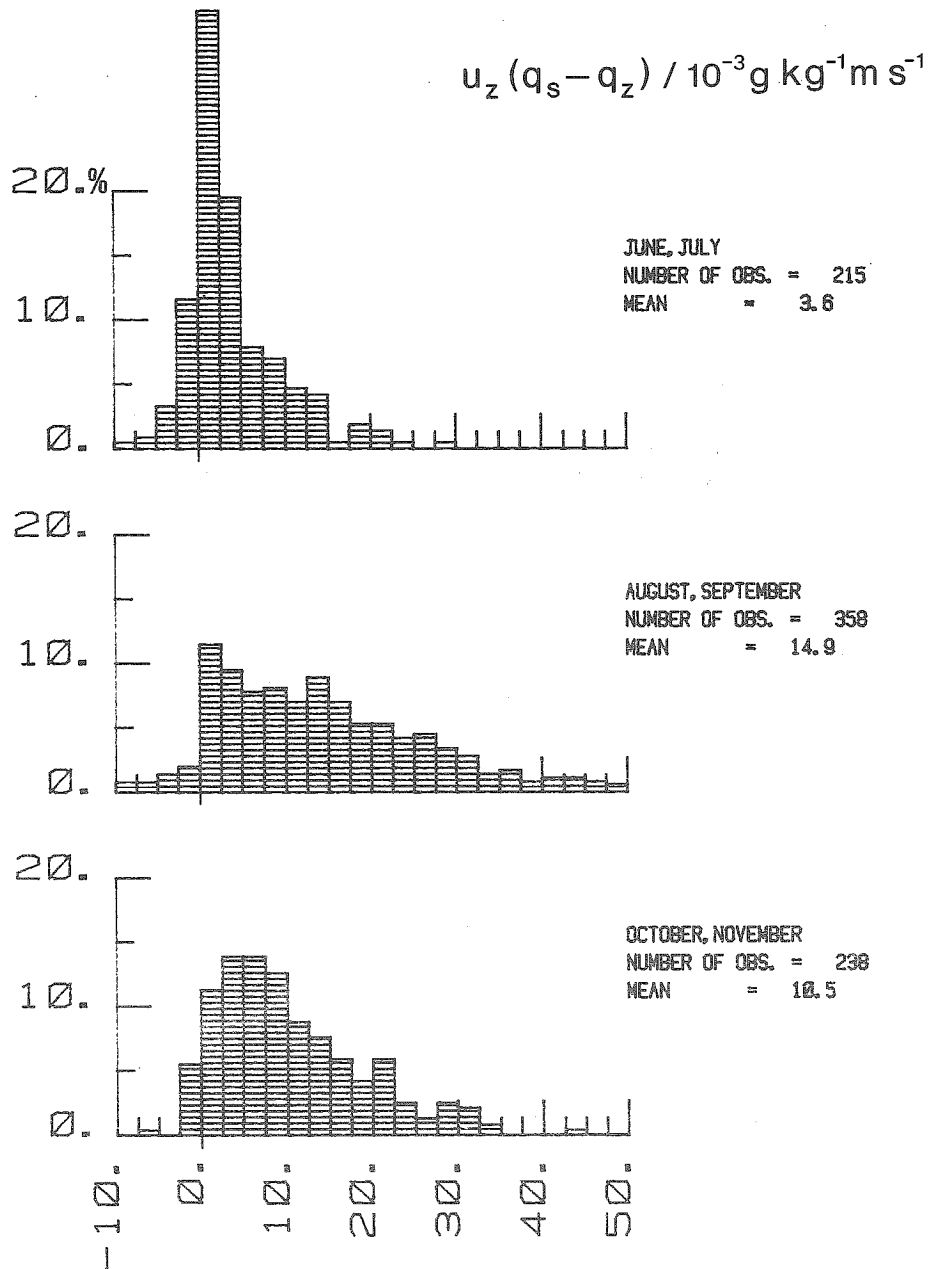


Fig. 9. Frequency distributions of the quantity wind speed multiplied with the saturation deficit of specific humidity.

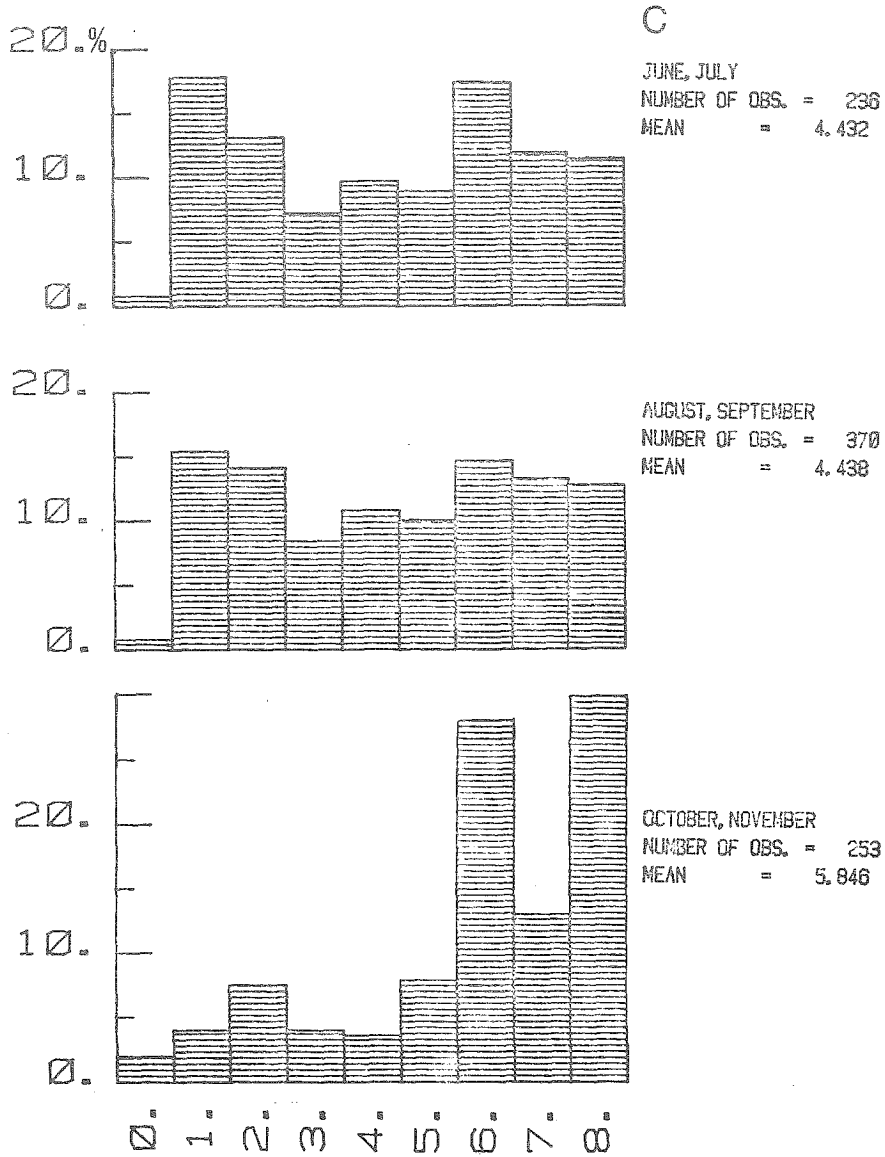


Fig. 10. Frequency distributions of cloudiness.

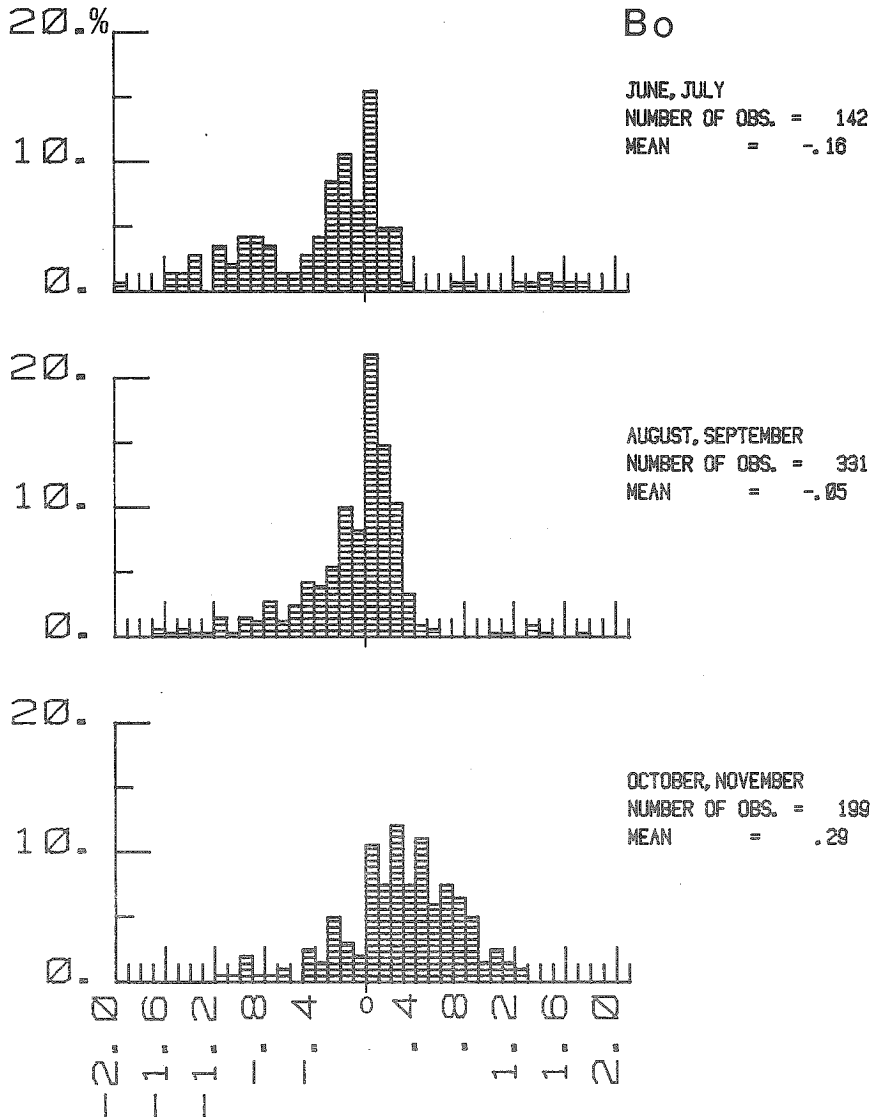


Fig. 11. Frequency distributions of the Bowen ratio ($Bo = H_S/H_L$).

△ : 1975- 5- 1 1975-12-31

× : 1977- 5- 1 1977-12-31

+ : 1978- 5- 1 1978-12-31

○ : 1979- 5- 1 1979-12-31

$T_s - T_z$

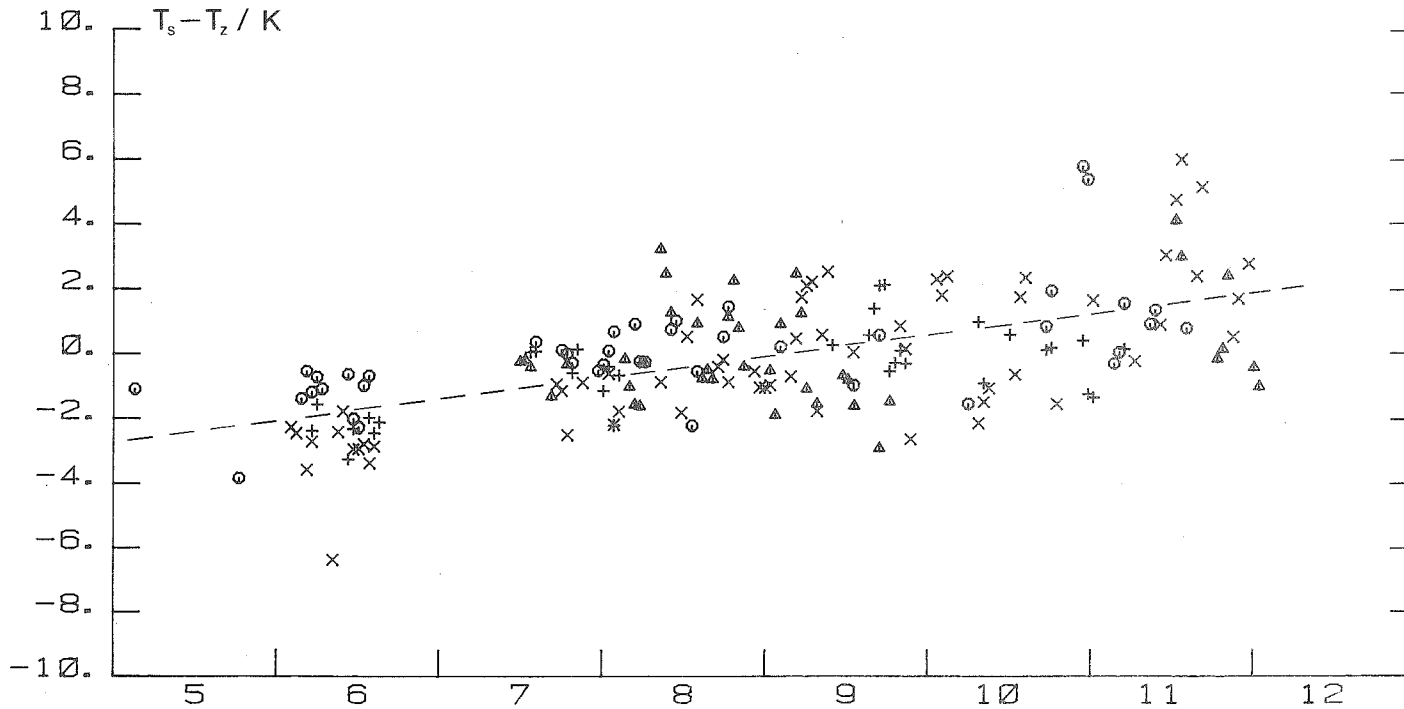


Fig. 12. The seasonal variation of the daily mean sea-air temperature difference in June-November.

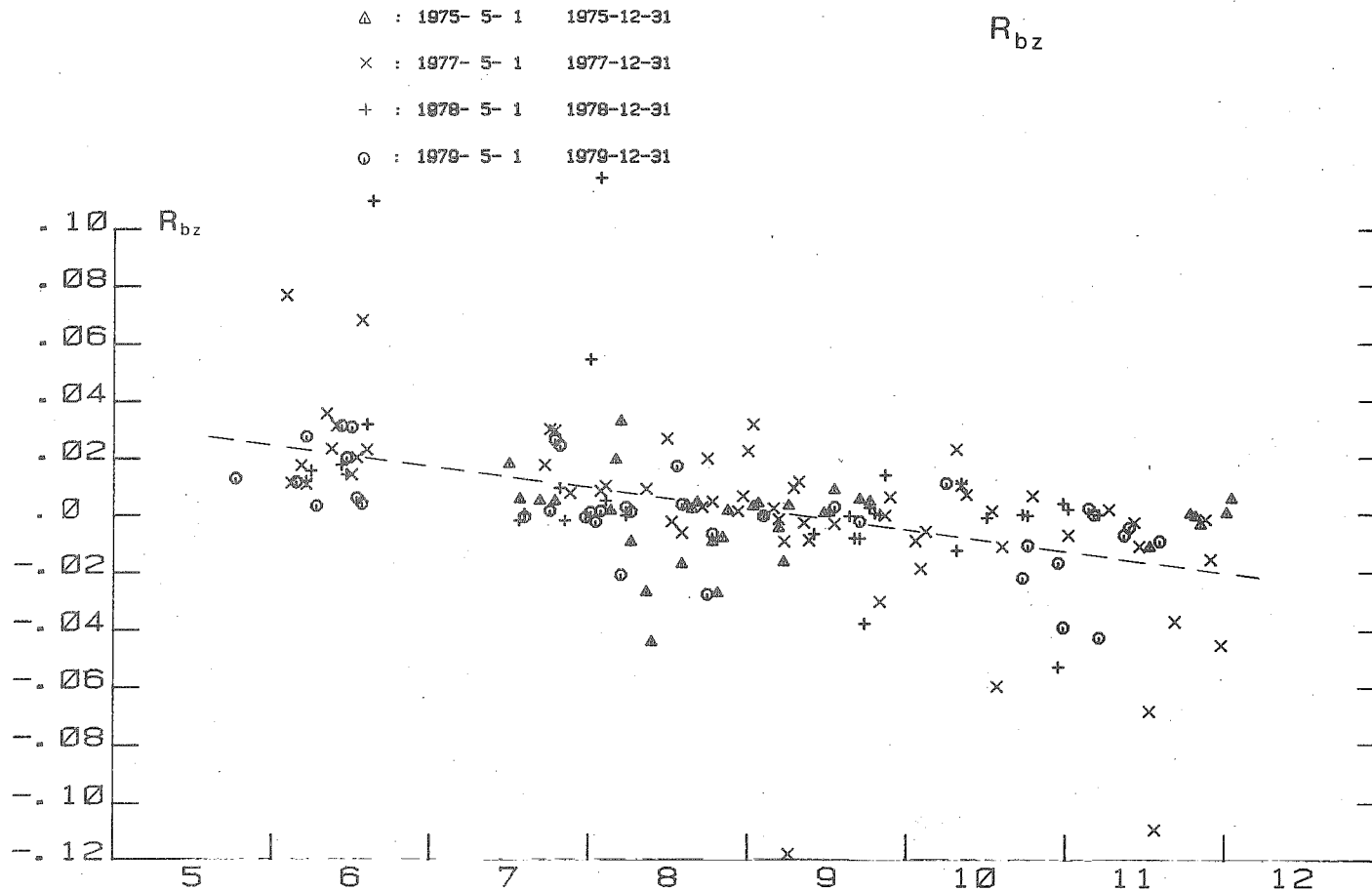


Fig. 13. The seasonal variation of the daily mean bulk-Richardson number in June-November.

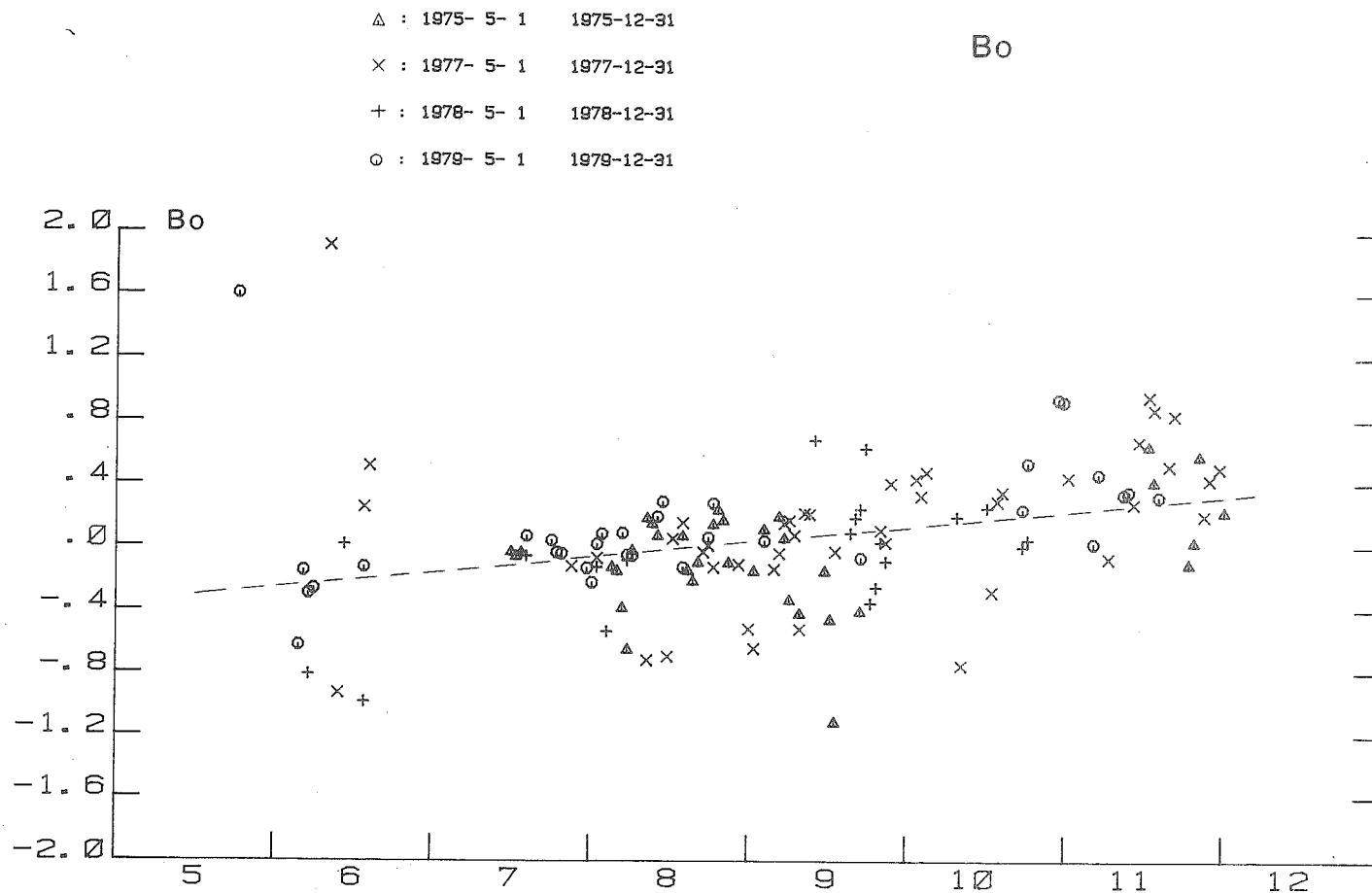


Fig. 14. The seasonal variation of the daily mean Bowen ratio ($Bo = H_S/H_L$) in June-November.

VARIATION OF SALINITY AT FINNISH FIXED HYDROGRAPHIC STATIONS IN THE GULF OF FINLAND AND THE RIVER RUNOFF TO THE BALTIC SEA ¹⁾

by Jouko Launiainen and Juha Koljonen
Institute of Marine Research
P.O. Box 166
SF-00141 Helsinki 14

(Summary with figures)

Synoptic salinity and temperature observations have been made at the Finnish coasts since the early 1900's. In the course of years the amount of the stations have varied from 10 to 45, and twelve stations (four automatic) are working currently (Fig. 1). Long-term data (more than 30 years) are available from over twenty stations and all the old data have been put into the automatic register form. Observations have been made three times a month. This paper gives a part of the work (cf. Launiainen and Koljonen 1981) with the above data summarizing some characteristics of salinity variations and their dependence on the river fresh water runoff. Further, the estimation method of the latter is discussed. The most essential results may be briefly listed as follows:

- A. An apparent correlation between the river runoff and the surface layer salinity may be found in the Gulf of Finland (Fig. 2) as quantitatively shown in Fig. 3. In spite of a large scattering, the quantitative explanation of Fig. 3 may be regarded as rather good because it is to be noted that the salinity cannot totally be controlled by the river runoff only. Fig. 4 introduces an important estimation and model input quantity $\partial S / \partial Q_{GF}$, where S is the salinity and Q_{GF} is the river runoff, versus the distance from the eastern end of the Gulf of Finland. Fig. 4 gives a result based on the data similar to Fig. 3.

1) Paper presented at a Soviet - Finland seminar on the protection of the marine environment of the eastern Gulf of Finland, Leningrad 16-20 August, 1982.

- B. The deep and bottom water (80-90 m) salinity at Utö is in an interesting way negatively correlated to the river runoff (Fig. 5A). The physics causing this may be rather complicated but the system may be understood by considering the dynamic balance of the water masses in the Baltic Sea; the isohalines and pycnoclines are inclining (Fig. 5B). When the amount of the fresh water runoff is changed it will cause a dynamic change in the described system, and at a proper site this may be observed also below the halocline as a negative correlation between the river runoff and the salinity. The case in point is given quantitatively in Fig. 6.
- C. An increase of salinity, especially from the 1930's to the middle of the 1950's may be found at most stations in waters around Finland (cf. Figs. 2 and 5A). In the Gulf of Finland this trend has continued until to the end of the 1970's (Fig. 2). When interpreting these results as well as salinity trends obtained in some other Baltic Sea studies, it is interesting to note that the total fresh water runoff, one of the most important processes controlling the water exchange and salinity budget of the Baltic Sea, decreased by 30 % from 1930's to the beginning of the 1940's (Fig. 5A). The long-term data available for some large rivers flowing to the Baltic Sea (Fig. 7) shows that in the long-term averages (30 y) there was a general decreasing trend during the 20th century until the 1950's. Also since then until to the end of 1970's (cf. paragr. D) the long-term mean runoff at least in Vuoksi has been lower than the overall average for the whole historical period (from the middle of 1800's).
- D. The estimation and calculation of the river runoff to large sea areas, consisting of a great number of river discharges (cf. Mikulski 1980), is a large and cumbersome task to do and, further, a calculation with a rather long time lag from the physical point of view. However, it seems that e.g. the river Vuoksi with its "averaging" lakes and versatile drainage area can be considered to represent rather well the runoff to the Gulf of Finland as noticed by Fonselius (1969). Using the data from Mikulski (1980) for the total runoff to the Gulf of Finland (1921-1970) the above dependence is quantitatively given in Figs. 8 and 9. Moreover, it seems that the long-period (one year and longer) discharge data from the river Vuoksi, easily obtained from the running statistics of a hydroelectrical power plant, may serve for many purposes as a practical and "real time"

basis for the estimation of the runoff to the whole Baltic Sea (Fig. 10). Thus one may be released from the cumbersome data collection task of sampling data from all the rivers discharging into the Baltic Sea.

From the point view of the problematics of the fresh water runoff to the Baltic Sea, the last two years seem to be the ones with the exceptionally high runoff. For example, in 1981 the Vuoksi mean discharge was $754 \text{ m}^3/\text{s}$ the long-term average being $570 \text{ m}^3/\text{s}$, and in 1982 it was $790 \text{ m}^3/\text{s}$ giving $783 \text{ m}^3/\text{s}$ for the two years period 1981-82. Comparing these values to the Figs. 8 to 10 one may expect the fresh water runoff of these years to be of an importance from the physical, chemical and perhaps even biological point of view.

References:

- Fonselius, S. 1969: Hydrography of the Baltic Deep Basins III. - Fishery Board of Sweden, Series Hydrography no 23.
- Hyvärinen, V. 1977: Statistical analysis of discharge data. - Vesihallitus - National Board of Waters, Finland, Publ. Water Res. Inst. 22:1-247.
- " - 1981: Virtaamaolojen kehitys Suomessa. - Unpubl. manusc.
- ICES/SCOR, 1973: Research programme for investigation of the Baltic as a natural resource in view of marine pollution problems and suggested experimental research tasks. - Proposed by ICES/SCOR Working Group on the study of pollution of the Baltic. Stockholm, 59 pp. (mimeogr.).
- Launiainen, J. and Koljonen J. 1981: Variations of temperature and salinity at Finnish fixed hydrographic stations in the Baltic Sea. - 69th ICES Statutory Meeting, 5-14 October 1981, Woods Hole, USA, C.M. 1981/C:25, 15 pp. (mimeogr.).
- Mikulski, Z. 1980: River inflow to the Baltic Sea. - University of Warsaw, Faculty of Geography and Regional Studies and Polish national committee of the IHP/UNESCO. Summary list of tables, 17 pp. (mimeogr.).

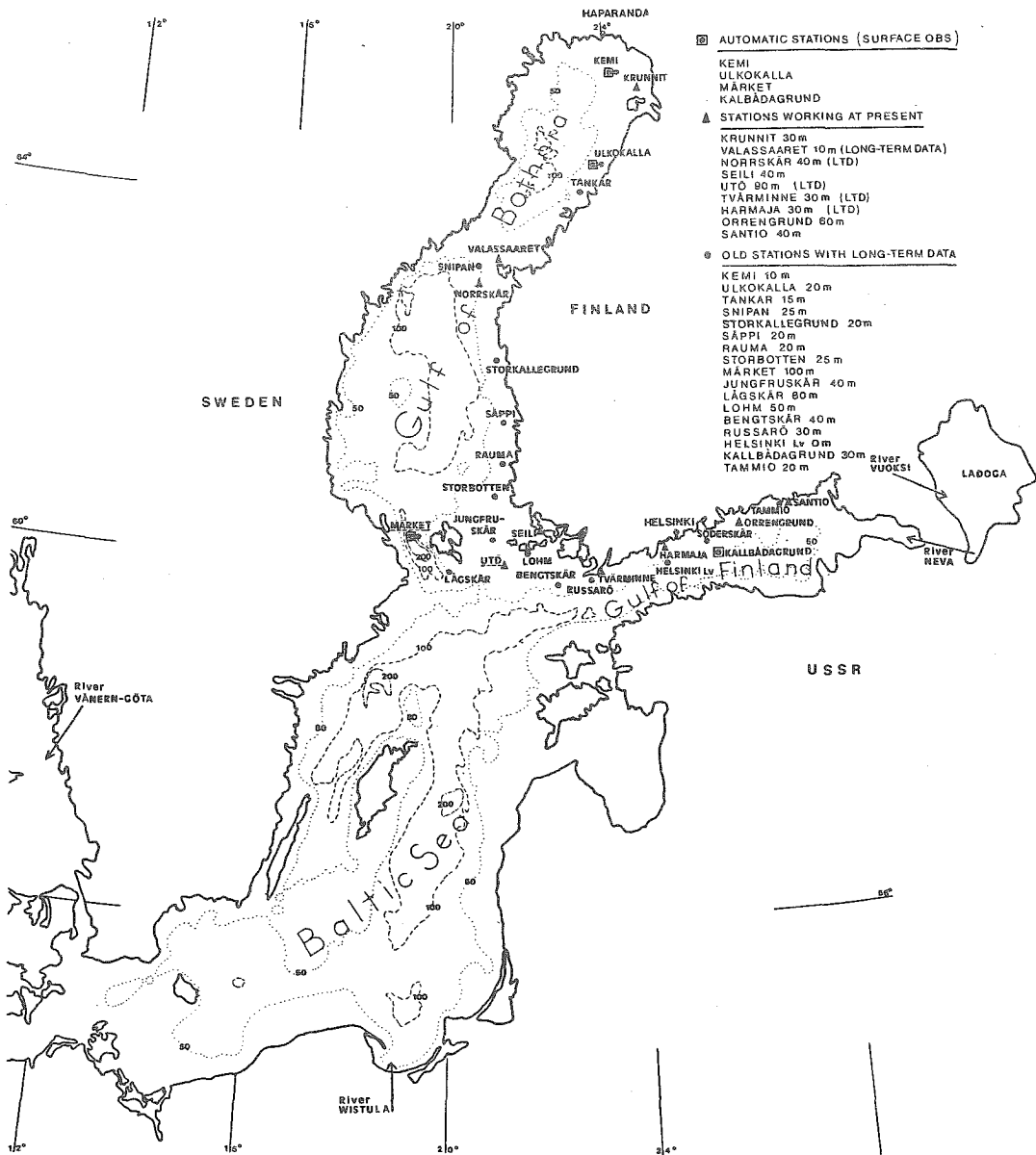


FIG. 1. LOCATION OF THE FINNISH FIXED HYDROGRAPHIC OBSERVATION STATIONS IN THE BALTIC SEA.

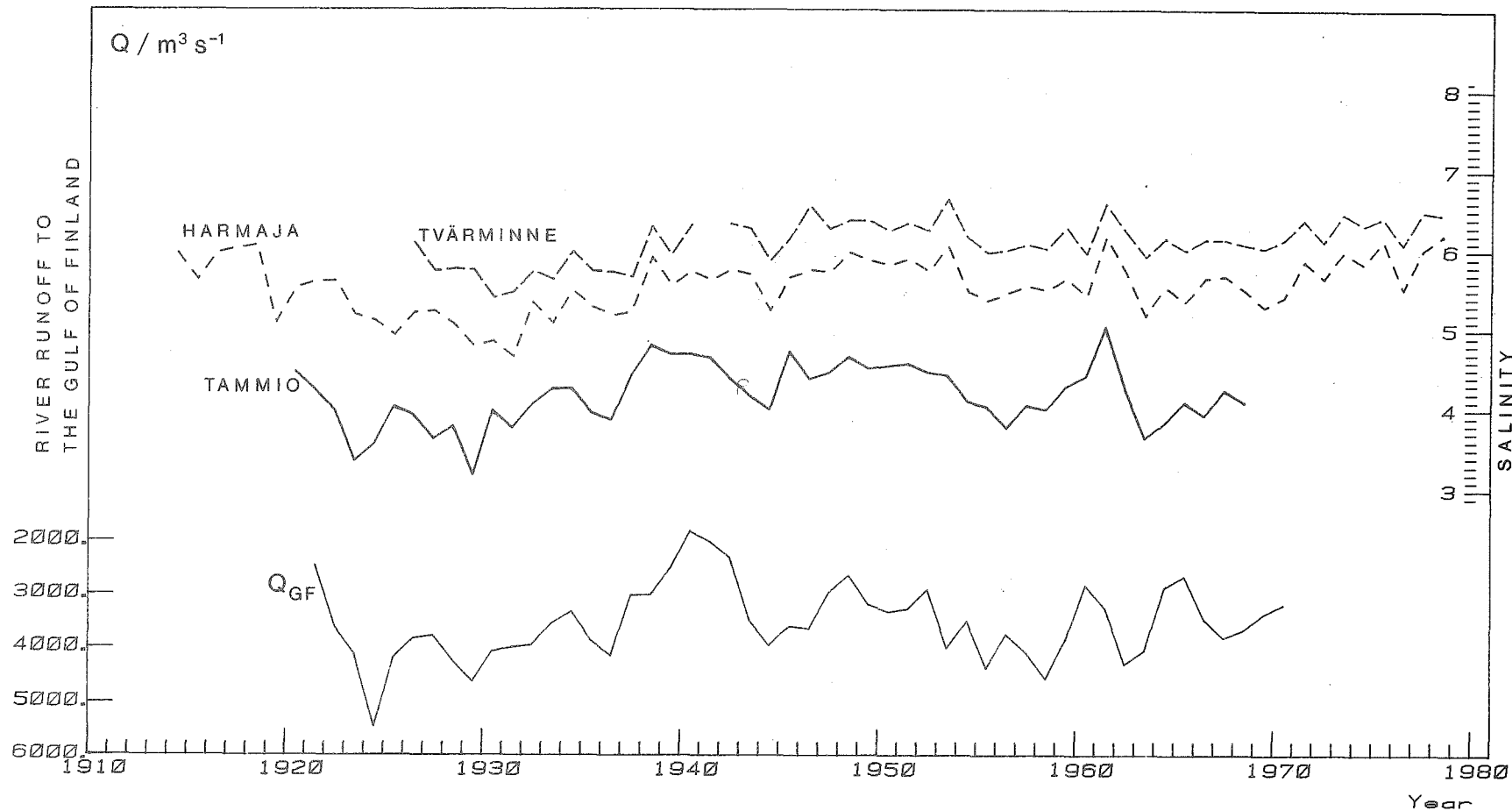


FIG. 2. TIME SERIES OF THE SURFACE LAYER (5 m) SALINITY AND THE RIVER RUNOFF TO THE GULF OF FINLAND, ANNUAL MEANS, (RUNOFF DATA FROM MIKULSKI 1980).

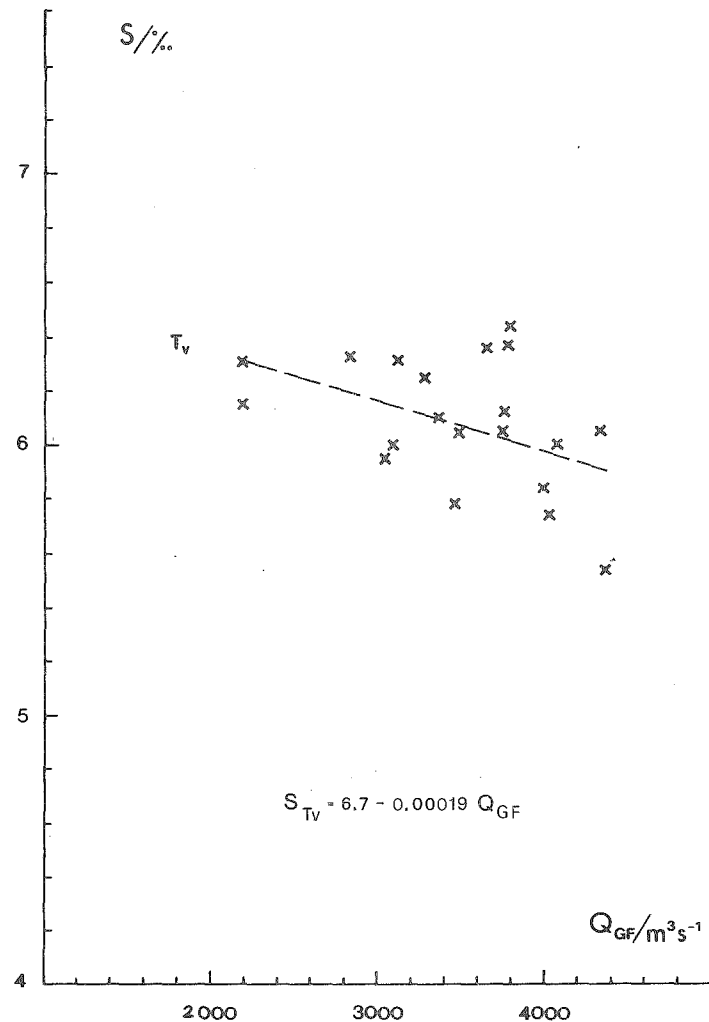
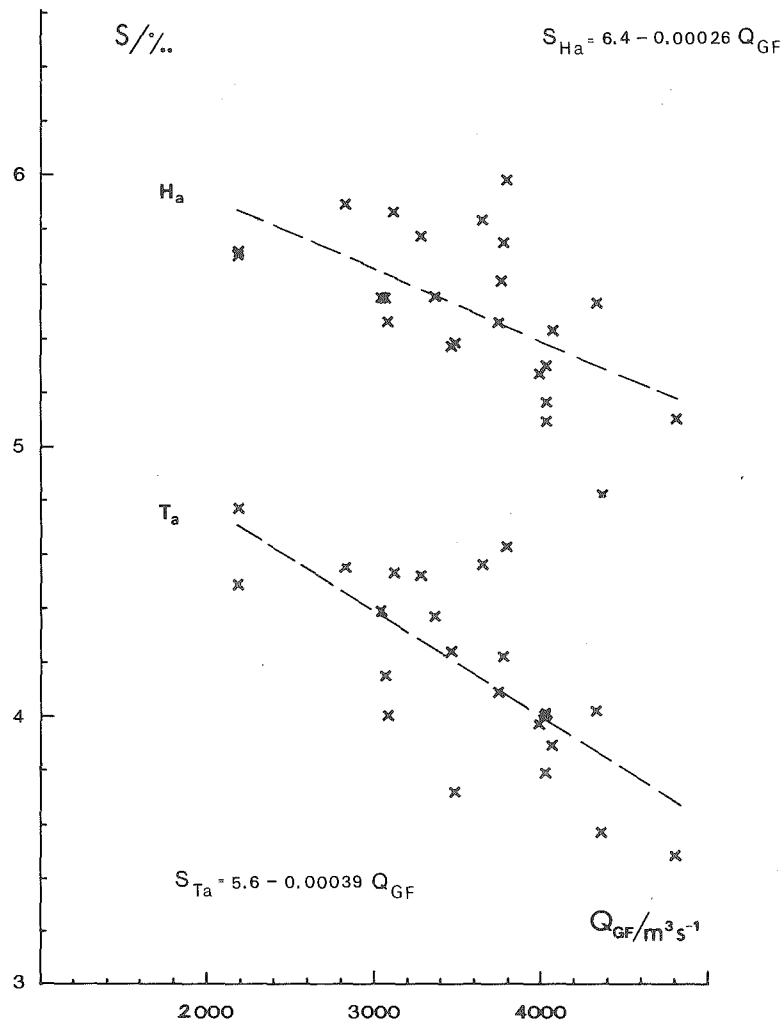


FIG. 3. SURFACE LAYER (5 m) SALINITY VERSUS RIVER RUNOFF TO THE GULF OF FINLAND, TWO YEARS' MEANS. H_a = HARMAJA, T_a = TAMMIO, T_v = TVÄRMINNE. (RUNOFF DATA FROM MIKULSKI 1980).

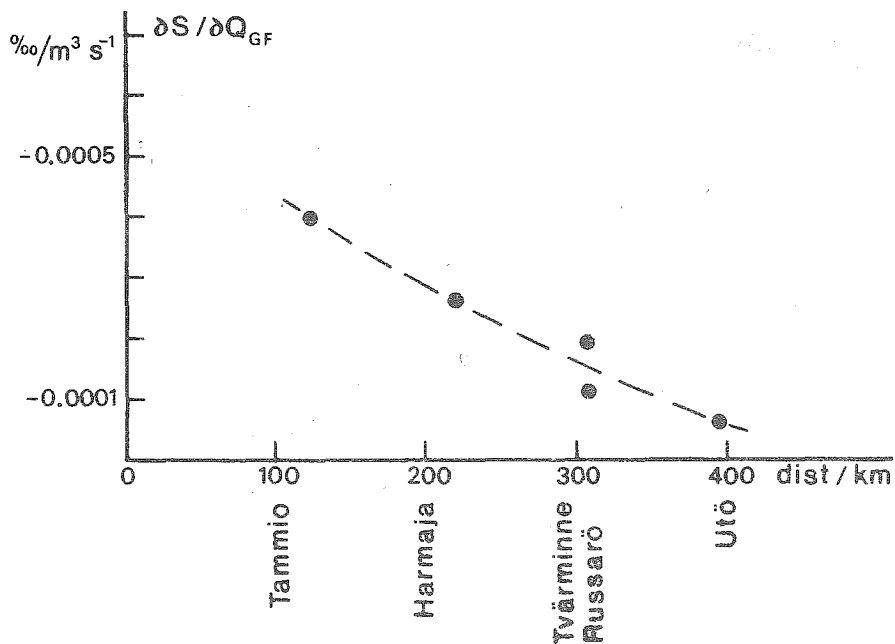


Fig. 4. Dependence of the surface (5 m) salinity on the river runoff to the Gulf of Finland, $\partial S / \partial Q_{GF}$, versus the distance of the observation point from the eastern end (river Neva) of the Gulf of Finland.

FIG. 5 A. TIME SERIES OF THE ANNUAL MEAN RIVER RUNOFF TO THE BALTIC SEA AND THE ANNUAL MEAN SALINITY OBSERVED NEAR THE BOTTOM AT Utö. (RIVER RUNOFF DATA FROM MIKULSKI 1980).

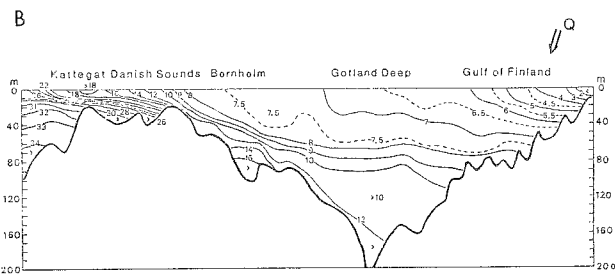
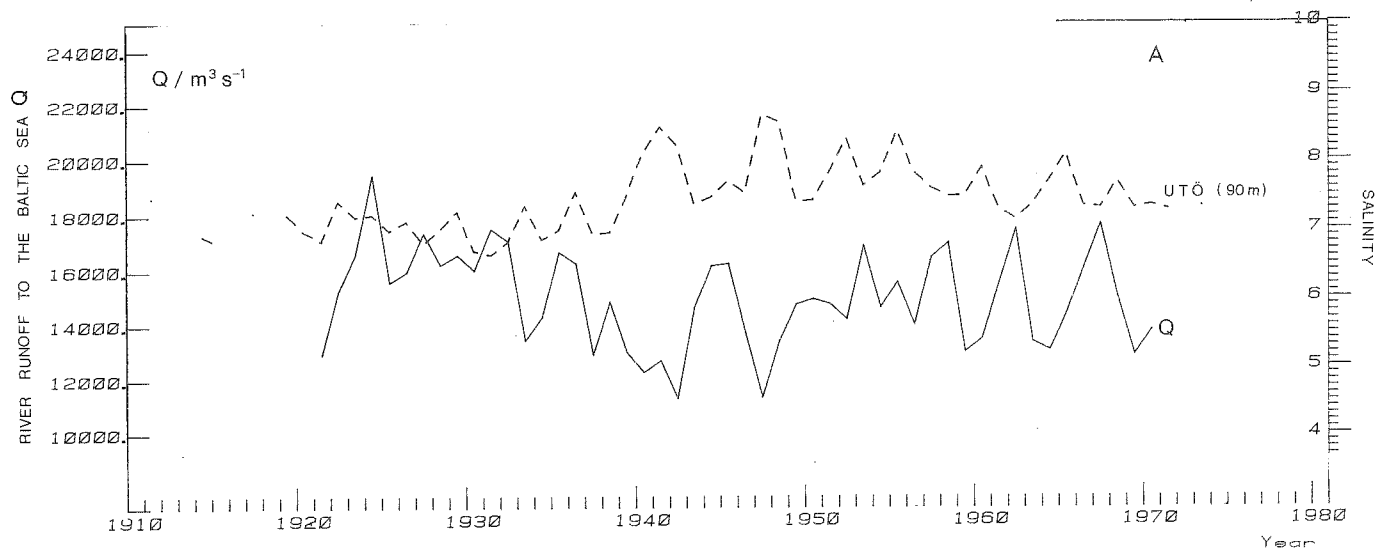


FIG. 5 B. LENGTH PROFILE OF SALINITY SHOWING THE INCLINATION OF ISOHALINES AND INDICATING THE DYNAMICAL CHARACTER OF THE WATER BALANCE OF THE BALTIC SEA (REDRAWN FROM ICES/SCOR 1973).

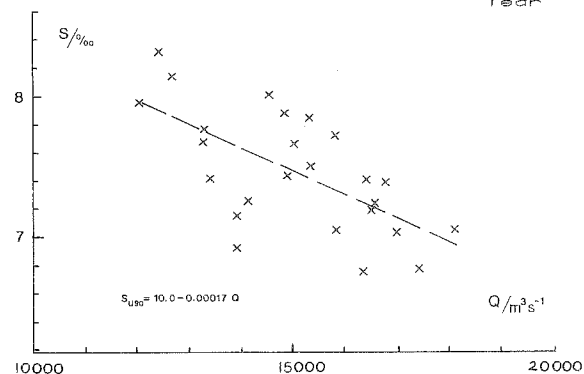


FIG. 6. BOTTOM SALINITY AT Utö (90 m) VERSUS RIVER RUNOFF TO THE BALTIC SEA. TWO YEARS' MEANS.

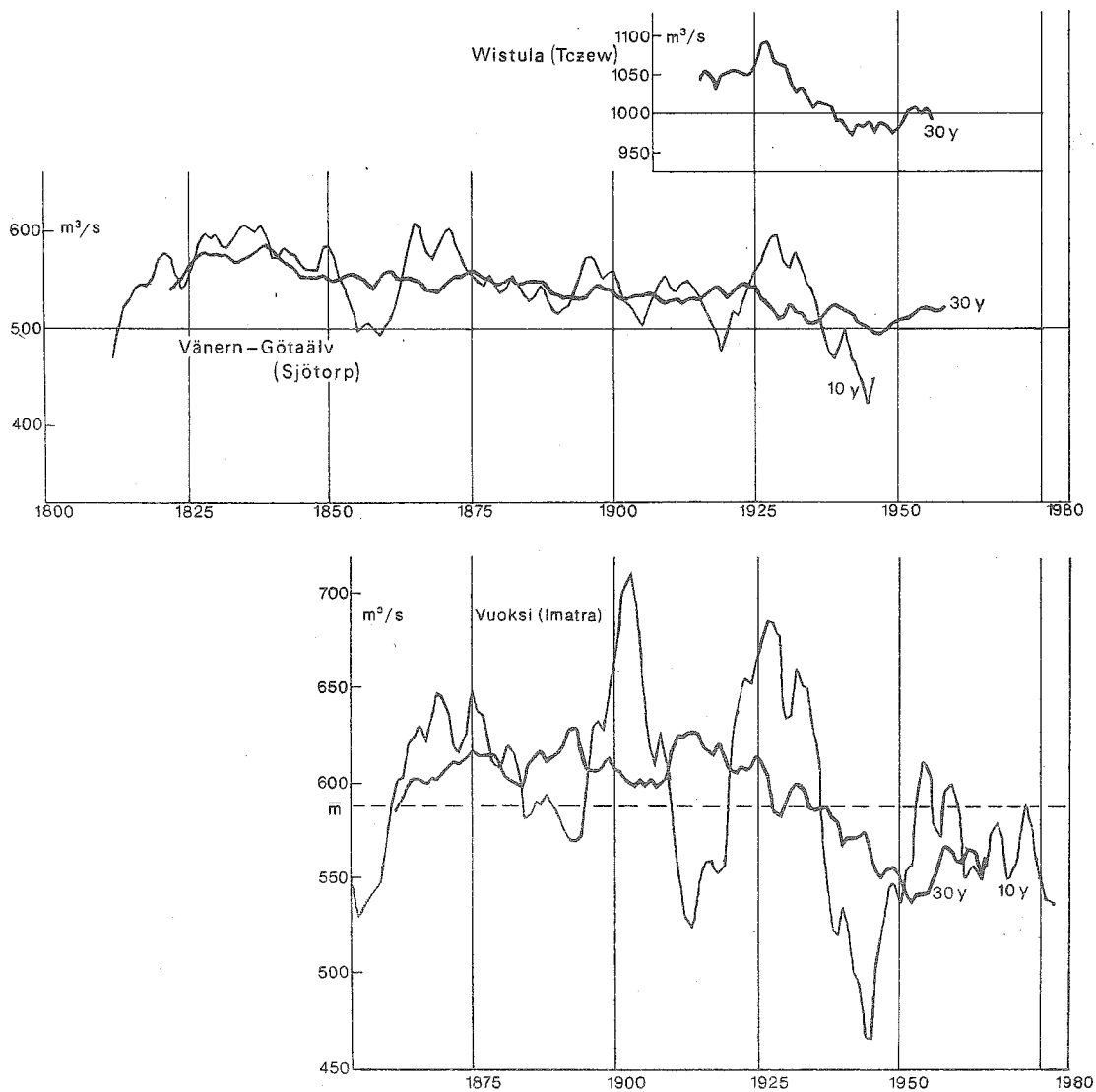


FIG. 7. LONG-TERM VARIATION OF RIVER DISCHARGE OF THREE BIG RIVERS DISCHARGING TO THE BALTIC SEA; VUOKSI, WISTULA, VÄNERN-GÖTA. TEN YEARS (10 Y) AND THIRTY YEARS (30 Y) RUNNING AVERAGES. (REDRAWN FROM HYVÄRINEN 1977 AND 1981).

VUOKSI VS. GULF OF FINLAND
 50 OBSERVATIONS, CORR. COEFF: .870
 LINEAR REGRESSION EQUATION: $Y = 4.51 * X + 917.7$

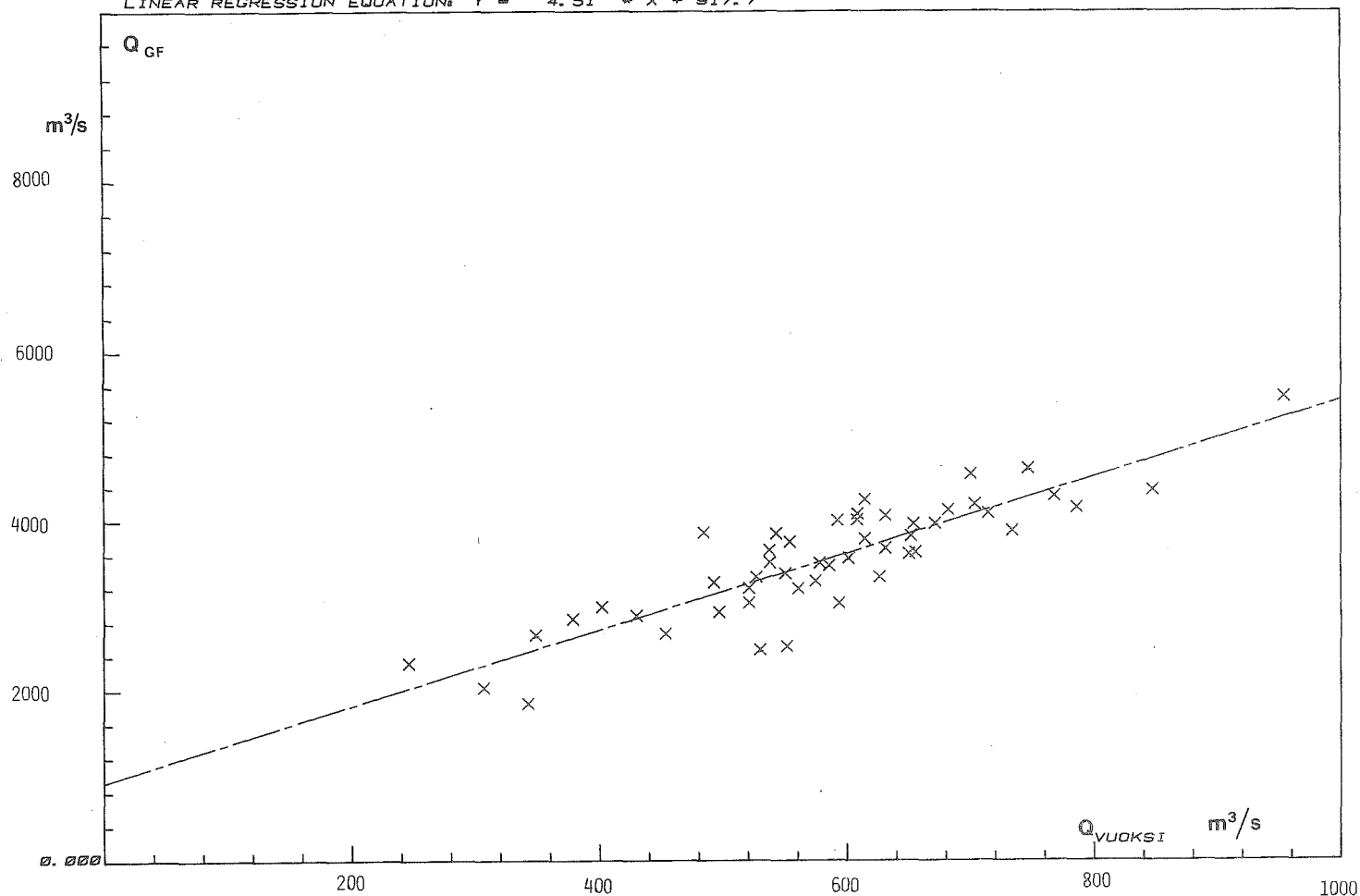


Fig. 8. Total river runoff to the Gulf of Finland versus the discharge of the river Vuoksi. Yearly means. (Runoff data for the Gulf of Finland from Mikulski 1980). In 1981 and 1982 the Vuoksi discharge was $754 \text{ m}^3/\text{s}$ and $790 \text{ m}^3/\text{s}$, respectively.

25 OBSERVATIONS. CORR. COEFF. .878
 LINEAR REGRESSION EQUATION: $Y = 4.78 * X + 885.5$

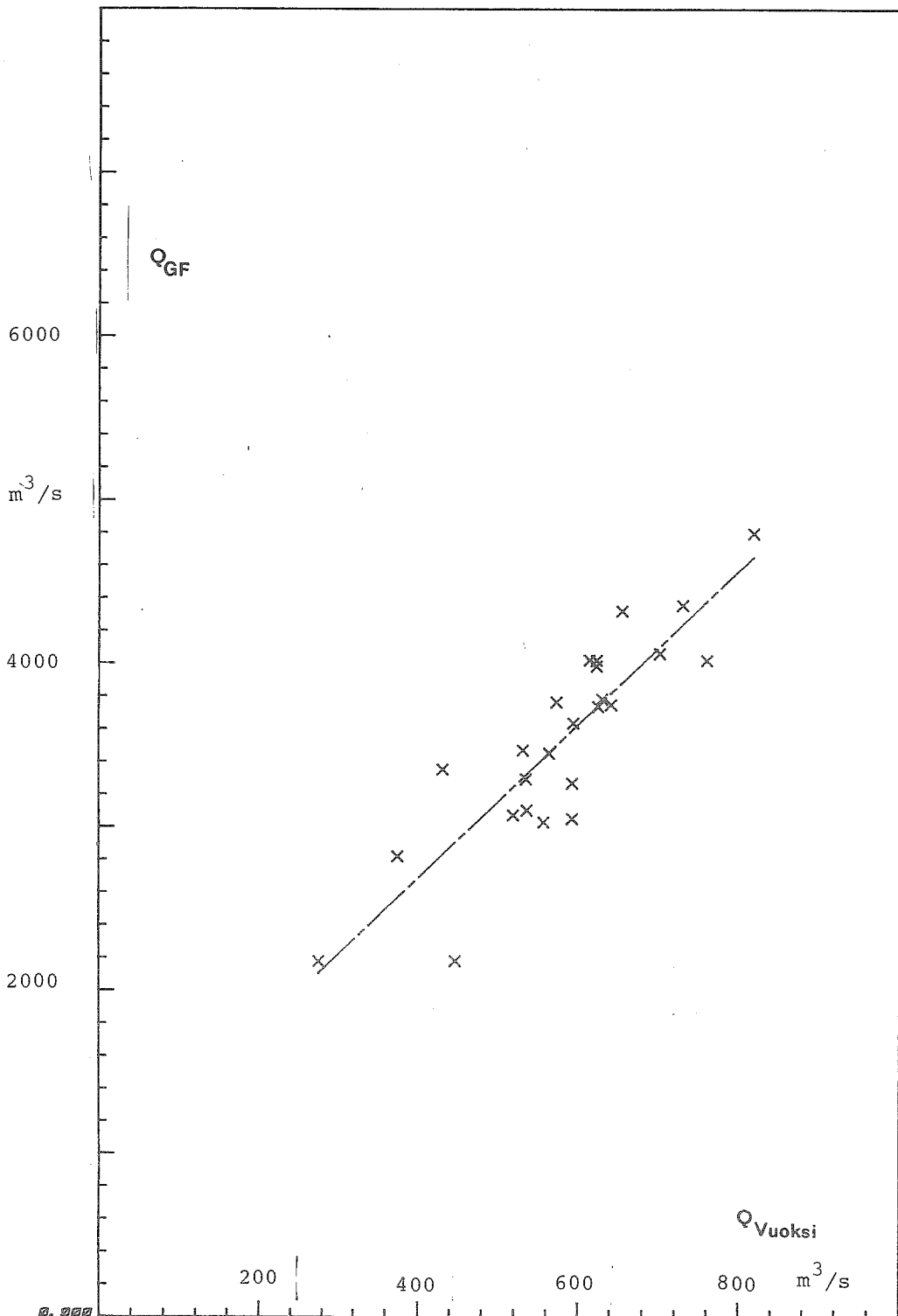


Fig. 9. Total river runoff to the Gulf of Finland versus the discharge of the river Vuoksi. Two years means. (Runoff data for the Gulf of Finland from Mikulski 1980). 1981-1982 gives 783 m^3/s for the mean discharge of Vuoksi.

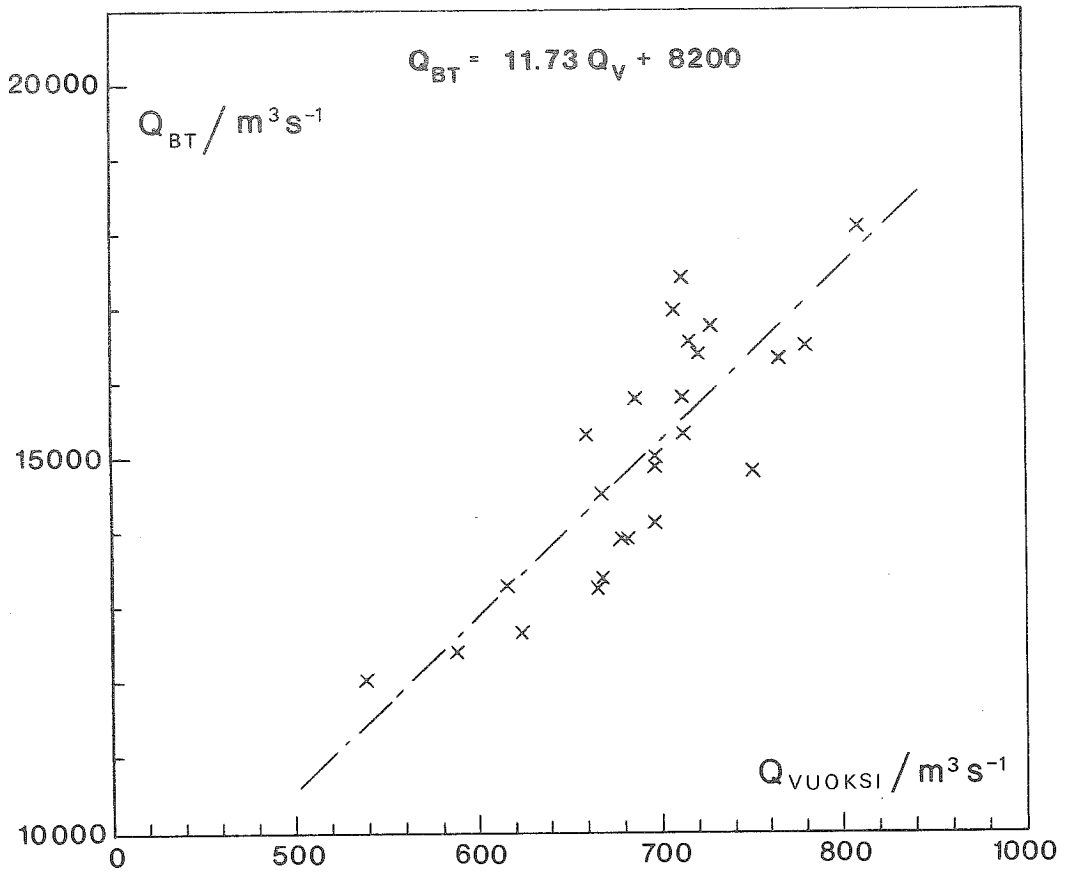


Fig.10. Total river runoff to the Baltic Sea versus Vuoksi river discharge. Two years means. (Total BS runoff data from Mikulski 1980).

